



# ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

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

№ 4 (16)  
Апрель 2014 г.

Издается с декабря 2012 года

Новосибирск  
2014

УДК 50

ББК 20

Е 86

Ответственный редактор: Гулин А.И.

Председатель редакционной коллегии:

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

Редакционная коллегия:

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

**Данилов Виктор Павлович** — канд. с.-х. наук, зам. дир. по научной работе СибНИИ кормов СО Россельхозакадемии;

**Елисеев Дмитрий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, бизнес-консультант Академии менеджмента и рынка, ведущий консультант по стратегии и бизнес-процессам, «Консалтинговая фирма «Партнеры и Боровков»;

**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 экономического университета;

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

**Сулеймен 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.

**Е 86 Естественные и математические науки в современном мире / Сб. ст. по материалам XVII междунар. науч.-практ. конф. № 4 (16). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. 128 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.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Математика</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление</b>	<b>6</b>
ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАТРИЦЫ ЯКОБИ ОДНОЙ $N$ -МЕРНОЙ СИСТЕМЫ Рузич Роман Васильевич	6
ОПИСАНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЯДА ЛОРАНА С СУЩЕСТВЕННОЙ ОСОБОЙ ТОЧКОЙ Якубовский Евгений Георгиевич	15
<b>1.2. Математическая логика, алгебра и теория чисел</b>	<b>23</b>
ОПЕРАЦИИ ЛОГИКИ В БИНАРНЫХ ОТНОШЕНИЯХ Нестерова Лариса Юрьевна	23
<b>Секция 2. Физика</b>	<b>31</b>
<b>2.1. Механика деформируемого твердого тела</b>	<b>31</b>
УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕЛИНЕЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ ТРУБЫ В СЛУЧАЕ ПРИ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ Никитин Андрей Витальевич	31
<b>2.2. Оптика</b>	<b>45</b>
ФОРМИРОВАНИЕ СТИМУЛИРОВАННОГО ФОТОННОГО ЭХА В ТРЕХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНИХ НЕРЕЗОНАНСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СТОЯЧИХ ВОЛН Ахмедшина Екатерина Николаевна Гарнаева Гузель Ильдаровна Нефедьев Леонид Анатольевич	45

ЦЕНТРИРОВАННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА: МАТРИЧНЫЙ И ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОДЫ РАСЧЕТА Васильчикова Елена Николаевна Козеева Мария Ивановна	51
<b>2.3. Физика магнитных явлений</b>	<b>59</b>
РАВНОВЕСНЫЕ СОСТОЯНИЯ КВАДРАТНЫХ МАССИВОВ ДИПОЛЕЙ С УЧЕТОМ ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ Шутый Анатолий Михайлович Семенцов Дмитрий Игоревич	59
ИНДУЦИРОВАННЫЙ МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ СИСТЕМЫ МАГНИТНЫХ ДИПОЛЕЙ Шутый Анатолий Михайлович	66
<b>Секция 3. Биология</b>	<b>74</b>
<b>3.1. Биологические аспекты сельского хозяйства</b>	<b>74</b>
ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ Лыгин Сергей Александрович Денисова Ольга Сергеевна	74
<b>3.2. Зоология</b>	<b>79</b>
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ У КРАСНОЙ ПОЛЁВКИ В ЗОНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЫРОЙ НЕФТЬЮ Левых Алёна Юрьевна Крысин Сергей Валерьевич Ильина Наталья Вячеславовна	79
<b>3.3. Экология и природопользование</b>	<b>86</b>
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТОВ ФЕДЕРАЛЬНОГО И КРАЕВОГО УРОВНЯ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ Брюховских Влада Викторовна Болотин Сергей Николаевич	86

<p>ФОРМИРОВАНИЕ КОНСОРЦИУМА  УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ  МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ  ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ В ПРИРОДНО-  КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ  Ерофеевская Лариса Анатольевна  Глязнецова Юлия Станиславовна</p>	92
<b>Секция 4. Химия</b>	<b>101</b>
<b>4.1. Биоорганическая химия</b>	<b>101</b>
<p>АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ  ЭКСТРАКТОВ И АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ  PHLOMOIDES ALPINA (PALL.) ADYLOV,  KAMELIN &amp; MAKHM. ИЗ КАЗАХСТАНА  Молдахметова Гүлжан Куандыковна  Ишмуратова Маргарита Юлаевна  Искакова Жанар Бактыбаевна  Джалмаханбетова Роза Илемисовна  Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы</p>	101
<p>ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ  АКТИВНОСТИ И АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ  ARTEMISIA TSCHERNIEVIANA BESSER  ИЗ КАЗАХСТАНА  Сисенғалиева Гүлсана Ғалымжанқызы  Ишмуратова Маргарита Юлаевна  Искакова Жанар Бактыбаевна  Джалмаханбетова Роза Илемисовна  Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы</p>	109
<b>4.2. Органическая химия</b>	<b>120</b>
<p>ТОПОЛОГИЯ КАРБОНИЛЬНЫХ СИСТЕМ  И ИХ АНАЛОГОВ СО СБЛИЖЕННЫМИ  ФУНКЦИЯМИ C=X (X = O, NR). СООБЩЕНИЕ 4.  ОСНОВЫ ТОПОЛОГИЧЕСКИ  ОРИЕНТИРОВАННОГО ДИЗАЙНА  КООРДИНАЦИОННЫХ СИСТЕМ  С ПОЛИОКСОЛИГАНДАМИ  Козьминых Владислав Олегович</p>	120

## СЕКЦИЯ 1.

### МАТЕМАТИКА

#### 1.1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ, ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

#### ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАТРИЦЫ ЯКОБИ ОДНОЙ $n$ -МЕРНОЙ СИСТЕМЫ

*Рузич Роман Васильевич*

*аспирант Хмельницкого национального университета,  
Украина, г. Хмельницкий  
E-mail: [ninasus@gmail.com](mailto:ninasus@gmail.com)*

#### FEATURES OF DETERMINING THE EIGENVALUES OF JACOBI MATRIX OF SOME $n$ -DIMENSIONAL SYSTEM

*Roman Ruzich*

*post-graduate student, Khmelnytsky National University,  
Ukraine, Khmelnytsky*

#### АННОТАЦИЯ

Проблема собственных значений является достаточно сложной и не полностью решенной, особенно в случае параметрической матрицы. В работе рассматривается многомерная модель разомкнутого гиперцикла Эйгена. Показан алгоритм определения собственных значений матрицы Якоби в некоторых особых точках.

## ABSTRACT

The eigenvalue problem is complicated and not fully resolved, especially in the case of parametric matrix. We consider the multidimensional model of open Eigen's hypercycle. Algorithm for determining the eigenvalues of the Jacobi matrix in some stationary points is demonstrated.

**Ключевые слова:** собственное значение; матрица Якоби; модель разомкнутого гиперцикла Эйгена.

**Keywords:** eigenvalue; the Jacobi matrix; the model of open Eigen's hypercycle.

Целый ряд процессов, происходящих в окружающем мире, описываются системами нелинейных дифференциальных уравнений. В основном решение таких систем трудно (а за частую и не возможно) найти в квадратурах. Поэтому для их исследования используются методы качественного анализа. Как известно, исследования локального поведения траекторий основано на рассмотрении матрицы Якоби и оценки ее собственных значений в стационарных точках.

Если для двумерной системы это является тривиальной задачей, то для  $N$ -мерного случая раскрытие соответствующего определителя и решение уравнения  $N$ -ой степени является достаточно сложной задачей [3]. На данный момент разработано достаточно много методов определения собственных значений матрицы: как итерационных [1, 6—9], так и таких, которые заключаются в преобразовании начального определителя [1, 4]. Однако следует отметить, что в случае, когда коэффициенты исходной системы дифференциальных уравнений задано параметрически, то существующие методы решения задач на собственные значения не слишком помогают.

В работе мы рассмотрим модель разомкнутого гиперцикла Эйгена [2, 5], которая используется для описания сукцессий в биогеоценозах:

$$\dot{x}_i = \left( F_i(x) - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n x_j F_j(x) \right) x_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $F_i(x) = a_{i-1} x_{i-1} - x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $a_i > 0$ ,  $i = \overline{1, n-1}$ ;  $x_0 = 1$ ,  $a_0 = N$ ,  $N > 0$ ,  $S_0 > 0$ . Здесь  $x_i$  — популяционная переменная, численность (концентрация или биомасса)  $i$ -ой ассоциации,  $i = \overline{1, n}$ ;

$N$  — коэффициент, определяющий численность первой ассоциации в состоянии равновесия при отсутствии второй;  $a_i$  — коэффициент, отражающий зависимость  $(i + 1)$ -ой ассоциации от  $i$ -ой,  $i = \overline{1, n-1}$ ;  $S_0$  — емкость среды (размер экологической ниши).

В этой статье рассмотрим особенности исчисления и анализа собственных значений матрицы Якоби в стационарных точках модели (1).

Обозначим полиномы в правой части системы (1) как  $y_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ), запишем их производные по переменной  $x_k$  как

$$y_i^{<k>} = -\frac{x_i}{S_0} (a_{k-1}x_{k-1} - 2x_k + a_kx_{k+1}), \quad i, k = \overline{1, n}, \\ i \neq k, i-1 \neq k, k \neq n, \quad (2)$$

$$y_i^{<k>} = -\frac{x_i}{S_0} (a_{k-1}x_{k-1} - 2x_k), \quad i = \overline{1, n-2}, k = n, \quad (3)$$

$$y_i^{<k>} = a_{i-1}x_{i-1} - 2x_i - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2) - \\ - \frac{x_i}{S_0} (a_{i-1}x_{i-1} - 2x_i + a_ix_{i+1}), \quad i = \overline{1, n-1}, i = k, \quad (4)$$

$$y_i^{<k>} = a_{i-1}x_{i-1} - 2x_i - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2) - \\ \frac{x_i}{S_0} (a_{i-1}x_{i-1} - 2x_i), \quad i = k = n, \quad (5)$$

$$y_i^{<k>} = a_{i-1}x_i - \frac{x_i}{S_0} (a_{i-2}x_{i-2} - 2x_{i-1} + a_{i-1}x_i), \\ i = \overline{2, n}, i-1 = k. \quad (6)$$

Можем записать структуру  $i$ -ой ( $i = \overline{1, n}$ ) строки матрицы Якоби системы (1):

$$\underbrace{(2)}_m \quad \underbrace{(6)}_l \quad (4)abо(5) \quad \underbrace{(2)abо(3)}_d$$

где  $m = \varphi(i - 2), \quad l = \begin{cases} 1, i > 1, \\ 0, i = 1, \end{cases} \quad d = n - m - l - 1,$

$$\varphi(x) = \begin{cases} x, x \geq 0, \\ 0, x < 0. \end{cases}$$

Теорема 1. Если координата  $x_p$  особой точки равна нулю, то одно из собственных значений матрицы Якоби в этой точке вычисляется как

$$a_{p-1}x_{p-1} - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2) \quad (7)$$

при условии, что  $x_p$  — первая координата или предшествующая  $x_p$  координата не нулевая, и как

$$-\frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2) \quad (8)$$

в противном случае.

Доказательство. Пусть некоторая координата  $x_p$  особой точки равна нулю. Тогда строку  $p$  матрицы Якоби можем записать как

$$\underbrace{0 \dots 0}_{p-1} \quad a_{p-1} x_{p-1} - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1} x_{j-1} x_j - x_j^2) \quad \underbrace{0 \dots 0}_{n-p}$$

Определим характеристическое уравнение матрицы Якоби в этой точке как  $|J - \lambda I| = 0$ , где  $J$  — матрица Якоби,  $I$  — единичная матрица,  $\lambda$  — собственные значения. Тогда разложение определителя на алгебраические дополнения по строке  $p$  можно записать как

$$\left( \lambda - a_{p-1} x_{p-1} + \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1} x_{j-1} x_j - x_j^2) \right) A_p = 0,$$

где:  $A_p$  — минор по диагональному элементу, который находится в строке  $p$  определителя. Таким образом, одно собственное значение

может быть рассчитано как  $a_{p-1} x_{p-1} - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1} x_{j-1} x_j - x_j^2)$

или  $-\frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^n (a_{j-1} x_{j-1} x_j - x_j^2)$  в случае  $x_{p-1} = 0$ . Теорема

доказана.

Рассматривая систему (1), можно заметить, что приравняв  $x_n$  к нулю, другие  $n - 1$  координаты особой точки вычисляются как для  $(n - 1)$ -мерной системы. Далее приравняем  $x_{n-1}$  к нулю, тогда другие  $n - 2$  координаты вычисляются как для  $(n - 2)$ -мерной системы и т. д. Рассматривая процесс в обратном порядке, можем утверждать следующее: если ко всем особым точкам  $n$ -мерной модели добавить  $(n + 1)$ -ую нулевую координату, то в образованных точках будет равно нулю векторное поле и  $(n + 1)$ -мерной системы. Подобные точки равновесия будем называть точками «потомками».

Запишем последнюю строку матрицы Якоби в подобной точке (с последней нулевой координатой)

$$\underbrace{0 \dots 0}_{n-1} \quad a_{n-1}x_{n-1} - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^{n-1} (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2).$$

Клетка, включающая первые  $n-2$  строки и  $n-2$  столбца, соответственно к формулам (2), (4), (6) не отличается от общего случая, причем элементы главной диагонали можно записать как

$$y_i^{<k>} = a_{i-1}x_{i-1} - 2x_i - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^{n-2} (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2) - \frac{x_i}{S_0} (a_{i-1}x_{i-1} - 2x_i + a_i x_{i+1}), \quad i = \overline{1, n-2}, \quad i = k.$$

Элементы  $(n-1)$ -ой строки клетки, состоящей из первых  $n-1$  строк и  $n-1$  столбцов полученной матрицы Якоби, определяются как

$$y_{n-1}^{<k>} = -\frac{x_{n-1}}{S_0} (a_{k-1}x_{k-1} - 2x_k + a_k x_{k+1}), \quad k = \overline{1, n-3};$$

$$y_{n-1}^{<n-2>} = a_{n-2}x_{n-1} - \frac{x_{n-1}}{S_0} (a_{n-3}x_{n-3} - 2x_{n-2} + a_{n-2}x_{n-1});$$

$$y_{n-1}^{<n-1>} = a_{n-2}x_{i-2} - 2x_{n-1} - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^{n-1} (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2) - \frac{x_{n-1}}{S_0} (a_{n-2}x_{n-2} - 2x_{n-1});$$

а элементы последнего столбца этой клетки как

$$y_i^{<n-1>} = -\frac{x_i}{S_0} (a_{n-2}x_{n-2} - 2x_{n-1}), \quad i = \overline{1, n-2}.$$

Таким образом  $(n-1) \times (n-1)$  клетка является матрицей Якоби  $(n-1)$ -мерной модели разомкнутого гиперцикла Эйгена в точке, образованной отбрасыванием последней координаты (которая является нулем) особой точки  $n$ -мерной модели. Полученный результат можем сформулировать в форме следующей теоремы.

Теорема 2.  $n-1$  собственные значения матрицы Якоби в точка «потомках»  $n$ -мерной модели разомкнутого гиперцикла Эйгена определяются как собственные значения матрицы Якоби в соответствующих точках  $(n-1)$ -мерной системы, а еще одно собственное значение равно

$$a_{n-1}x_{n-1} - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^{n-1} (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2).$$

Следствие 2.1.  $n-k$  собственные значения матрицы Якоби в точке последними  $k$  нулевыми координатами определяются с  $(n-k)$ -мерной модели,  $(k-1)$  за формулой (8), а одно равно

$$a_{n-k}x_{n-k} - \frac{1}{S_0} \sum_{j=1}^{n-k} (a_{j-1}x_{j-1}x_j - x_j^2). \quad (9)$$

Рассмотрим особые точки модели (1) с не более чем двумя ненулевыми координатами, при условии что, по крайней мере, после одной нулевой координаты существует одна ненулевая. Были определены следующие множества особых точек

$$M_1 = \left\{ \left( \left( \frac{N+S_0}{2}, 0 \dots 0, \frac{S_0-N}{2}, 0 \dots 0 \right) \middle| i \in [3, n], i \in \mathbb{Z} \right\},$$

$$M_2 = \left\{ \left( \left( 0 \dots 0, S_0, 0 \dots 0 \right) \middle| i \in [2, n], i \in \mathbb{Z} \right\},$$

$$M_3 = \left\{ \left( \left( 0 \dots 0, \frac{S_0}{2}, 0 \dots 0, \frac{S_0}{2}, 0 \dots 0 \right) \right) \middle| i, j \in [2, n], \right. \\ \left. |i - j| > 1, i, j \in \mathbf{Z} \right\},$$

$$M_4 = \left\{ \left( \left( 0, \dots, 0, \frac{S_0}{a_i + 2}, \frac{S_0(a_i + 1)}{a_i + 2}, 0, \dots, 0 \right) \right) \middle| i \in [2, n - 1], i \in \mathbf{Z} \right\}.$$

Используя теоремы 1, 2 и следствие 2.1 легко показать, что в точках из множества  $M_1$  собственные значения матрицы Якоби вычисляются как

$$\lambda_1 = (S_0 - N + Na_1 + S_0 a_1) / 2, \\ \lambda_2 = (a_i + 1)(S_0 - N) / 2, \quad \lambda_3 = (N^2 - S_0^2) / 2S_0,$$

$\lambda_j = (S_0 - N) / 2, j = \overline{4, n}$ ; в точках с множества  $M_2$  -

$$\lambda_1 = N + S_0, \lambda_2 = S_0(1 + a_i), \lambda_j = S_0, j = \overline{3, n},$$

$(a_n = 0)$ ; в точках с множества  $M_3$  -  $\lambda_1 = N + S_0 / 2,$

$$\lambda_2 = -S_0 / 2, \quad \lambda_3 = S_0(a_i + 1) / 2, \quad \lambda_4 = S_0(a_j + 1) / 2,$$

$\lambda_k = -S_0 / 2, k = \overline{5, n}$ ; в точках с множества  $M_4$  -

$$\lambda_1 = N + S_0 / (a_i + 2),$$

$$\lambda_2 = S_0(1 + a_{i+1} + a_i a_{i+1}) / (a_i + 2),$$

$$\lambda_3 = -S_0(a_i + 1) / (a_i + 2), \lambda_j = S_0 / (a_i + 2), j = \overline{4, n}.$$

Проанализировав полученные собственные значения, можем отметить, что точки из множеств  $M_1 - M_4$  подтверждают выдвинутую в работе [2] гипотезу: если справа от нулевой координаты особой точки модели разомкнутого гиперцикла Эйгена существует

ненулевая координата, то такая точка неустойчива при любых положительных значениях параметров.

### **Список литературы:**

1. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. Том II. М.: Физматгиз, 1962. — 640 с.
2. Рузич Р.В. Стійкість особливих точок трьохвимірного випадку однієї моделі екологічної макросистеми // Вісник Одеського національного університету. Математика і механіка. — 2012. — Т. 17, — вип. 3 (15). — С. 45—51.
3. Уилкинс Дж.Х. Алгебраическая проблема собственных значений. М.: Наука, 1970. — 564 с.
4. Фаддеев Д.К., Фаддеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры. 3-е стереот. изд. СПб.: Лань, 2002. — 736 с.
5. Чернишенко С.В. Нелинейные методы динамики лесных биогеоценозов. Днепропетровск: Изд-во ДНУ, 2005. — 500 с.
6. Egana J.C., Kuhl N.M., Santos L.C. An inverse eigenvalue method for frequency isolation in spring-mass systems // Numerical Linear Algebra with Applications. — 2002. — Vol. 9, — Is. 1. — P. 65—79.
7. Golub G.H., Wilkinson J.H. Ill-conditioned eigensystems and the computation of the Jordan canonical form // SIAM Review. — 1976. — Vol. 18, — № 4. — P. 578—619.
8. Ipsen C.F. Computing an eigenvector with inverse iteration // SIAM Review. — 1997. — Vol. 39, — № 2. — P. 254—291.
9. Paige C.C. Computational variants of the Lanczos method for the eigenproblem // Journal of the Institute of Mathematics and Its Applications. — 1972. — № 10. — P. 373—381.

# ОПИСАНИЕ ХАОТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РЯДА ЛОРАНА С СУЩЕСТВЕННОЙ ОСОБОЙ ТОЧКОЙ

*Якубовский Евгений Георгиевич*

*инженер вычислительного центра, Национальный  
Минерально-Сырьевой Университет «Горный»,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [yakubovski@rambler.ru](mailto:yakubovski@rambler.ru)*

## DESCRIPTION CHAOTIC SOLUTIONS USING LAURENT SERIES WITH AN ESSENTIAL SINGULARITY

*Jakubowski Evgeny*

*engineering Computer Center,  
National University of Mineral-Raw "Mountain",  
Russia, St. Petersburg*

### АННОТАЦИЯ

Эволюционные квазилинейные дифференциальные уравнения сводятся к системе обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. В статье [2] исследовано их решение в случае не кратных положений равновесия. В предлагаемой статье исследованы эти уравнения в случае кратных положений равновесия.

### ABSTRACT

Evolutionary quasilinear differential equations reduce to a system of nonlinear ordinary differential equations. We studied these equations in [2], in the cases, when equilibrium positions are onefold. In this paper we studied these equations in the case of multiple equilibrium position.

**Ключевые слова:** хаотические решения; ряд Лорана с существенно особой точкой; кратные положения равновесия.

**Keywords:** chaotic solutions; Laurent series with an essential singularity; multiple equilibrium position.

Лемма 1. Сумма коэффициентов

$$\lambda_i^s = \frac{1}{(a_i^s - a_i^1) \dots (a_i^s - a_i^{s-1})(a_i^s - a_i^{s+1}) \dots (a_i^s - a_i^S)}$$

по индексу  $s$  равна нулю, т.е.  $\sum_{s=1}^S \lambda_i^s = 0$ .

Для доказательства этого тождества рассмотрим полином  $S - 1$  степени относительно  $y$

$$P(y) = \sum_{s=1}^S \frac{(y - a_i^1) \dots (y - a_i^{s-1})(y - a_i^{s+1}) \dots (y - a_i^S)}{(a_i^s - a_i^1) \dots (a_i^s - a_i^{s-1})(a_i^s - a_i^{s+1}) \dots (a_i^s - a_i^S)},$$

В точках положения равновесия  $y = a_i^s, s = 1, \dots, S$  полином удовлетворяет  $P(a_i^s) = 1$ . В силу единственности полинома степени  $S - 1$ , проходящего через  $S$  точек, получаем  $P(y) = 1$ , так как это значение удовлетворяет точкам аппроксимации. Распишем формулу для полинома, равного единице, разделив его на произведение  $(y - a_i^1) \dots (y - a_i^S)$ , получим

$$\sum_{s=1}^S \frac{1}{(a_i^s - a_i^1) \dots (a_i^s - a_i^{s-1})(a_i^s - a_i^{s+1}) \dots (a_i^s - a_i^S)(a_i^s - y)} + \frac{1}{(y - a_i^1) \dots (y - a_i^{s-1})(y - a_i^s)(y - a_i^{s+1}) \dots (y - a_i^S)} = 0$$

полагая,  $y = a_i^{S+1}$  получим тождество  $\sum_{s=1}^{S+1} \lambda_i^s = 0$ , в случае,

если имеется  $S + 1$  положение равновесия.

Опишем структуру возможно хаотического решения, которое является турбулентным при кратных положениях равновесия. В случае уравнения Навье-Стокса кратные корни, это свойство комплексного решения, или турбулентного решения.

Теорема 1. В случае системы (1) с двукратным корнем положения равновесия решение задачи Коши в комплексной плоскости для системы дифференциальных уравнений (1) с действительными и комплексными положениями равновесия будет определяться рядом Лорана с существенной особой точкой и, следовательно, при приближении к особенности может носить хаотический характер. Может иметь полюсы со знаменателем  $1/[H(t, t_0) - H(t_n, t_0)]^{1/(K+1)}$ , где  $K + 2$  количество положений равновесия. Положений равновесия должно быть больше двух. В общем случае решение задачи не единственно, а имеется счетное количество решений. Причем реализуется состояние с наименьшей энергией. Аргумент решения  $t$  является действительным. Система дифференциальных уравнений (1) запишется в виде

$$\frac{dx_l}{dt} = F_l(x_1, \dots, x_N), l = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Доказательство.

Решение уравнения (1) в случае кратных положений равновесия исследовалось в [3], [4]. Уточним эти решения.

В случае двух кратного корня  $a_N$  систему дифференциальных уравнений (1) можно представить в виде

$$\begin{aligned} \frac{dx_l}{dt} &= \exp[G_l(x_1, \dots, x_N)] \prod_{k=1}^{K+2} (x_l - a_l^k), l = 1, \dots, N - 1 \\ \frac{dx_N}{dt} &= \exp[G_N(x_1, \dots, x_N)] (x_N - a_N^{K+1})^2 \prod_{k=1}^K (x_N - a_N^k) \end{aligned}, \quad (2)$$

где введен не обращающийся в ноль множитель  $\exp[G_l(x_1, \dots, x_N)]$ ,

который равен  $\exp[G_l(x_1, \dots, x_N)] = F_l(x_1, \dots, x_N) / \prod_{k=1}^{K+2} (x_l - a_l^k)$ .

При подстановке этого множителя в (2), получим (1). Покажем, что этот множитель в ноль не обращается. Величины  $a_l^k$  удовлетворяют условию  $F_s(a_1^k, \dots, a_N^k) = 0, s = 1, \dots, N; k = 1, \dots, K + 2$ , где величина  $K$  конечна.

При условии  $x_l \rightarrow a_l^k, k = 1, \dots, K$  имеем конечный предел

$$\begin{aligned} & \exp[G_l(x_1, \dots, x_N)] = \\ & = \frac{\partial F_l(a_1^k, \dots, a_N^k)}{\partial x_l} / [(a_l^k - a_l^1) \dots (a_l^k - a_l^{k-1})(a_l^k - a_l^{k+1}) \dots (a_l^k - a_l^{K+2})] \\ & \exp[G_N(x_1, \dots, x_N)] = \\ & = \frac{\partial F_N(a_1^k, \dots, a_N^k)}{\partial x_N} / [(a_N^k - a_N^1) \dots (a_l^k - a_N^{k-1})(a_N^k - a_N^{k+1}) \dots (a_N^k - a_N^{K+2})] \end{aligned}$$

При условии  $x_N \rightarrow a_N^{K+1}$  тоже имеем конечный предел

$$\begin{aligned} & \exp[G_N(x_1, \dots, x_N)] = \\ & = \frac{\partial^2 F_N(a_1^{K+1}, \dots, a_N^{K+1})}{2\partial x_N^2} / [(a_N^{K+1} - a_N^1) \dots (a_l^{K+1} - a_l^K)] \end{aligned}$$

В случае совпадающих корней сокращается множитель  $(x_N - a_N^{K+1})^2$ . При этом получается не обращающийся в ноль множитель  $\exp[G_N(x_1, \dots, x_N)]$ . При этом дифференциал

$$\begin{aligned} \frac{dx_l}{dH_l(t, t_0)} &= \prod_{k=1}^{K+2} (x_l - a_l^k), \frac{dx_N}{dH_N(t, t_0)} = (x_N - a_N^{K+1})^2 \prod_{k=1}^K (x_N - a_N^k) \\ H_l(t, t_0) &= \int_{t_0}^t \exp\{G_l[x_1(t), \dots, x_N(t)]\} dt \end{aligned} \quad (3)$$

где  $H_l(t, t_0)$  стремящаяся к бесконечности функция при условии  $t \rightarrow \infty$ . В случае решения в действительной плоскости это монотонная функция.

Запишем дифференциальное уравнение с кратным значением положения равновесия

$$\begin{aligned} \frac{dx_N}{dt} &= \exp[G_N(x_1, \dots, x_N)](x_N - a_N^{K+1})^2 \prod_{k=1}^K (x_N - a_N^k) \\ \frac{dx_N}{dH_N(t, t_0)} &= (x_N - a_N^{K+1})^2 \prod_{k=1}^K (x_N - a_N^k), H_N(t, t_0) = . \\ &= \int_{t_0}^t \exp[G_N(x_1, \dots, x_N)] dt \end{aligned}$$

Величина  $\exp[G_N(x_1, \dots, x_N)]$  в ноль не обращается. Решение этого дифференциального уравнения имеет вид

$$\begin{aligned} \sum_k \lambda_N^k \ln |x_N - a_N^k| \Big|_{t_0}^t + \frac{\mu_N^{K+1}}{x_N - a_N^{K+1}} \Big|_{t_0}^t &= \\ = H_N(t, t_0) = \int_{t_0}^t \exp[G_N(x_1, \dots, x_N)] dt, & \quad (4) \end{aligned}$$

$a_l^k$  координаты положения равновесия, величина  $a_N^{K+1}$  значение двух кратного положения равновесия.

Имеем три возможных варианта разложения функции в ряд. Либо в точке  $V = t_1$  имеется существенная особая точка, и решение стремится к произвольным точкам при приближении к особенности, либо справедливо

$$x_N = a_N^{K+1} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k (V - t_1)^k + \sum_{k=1}^K \frac{a_{-k}}{(V - t_1)^k}, V = H_N(t, t_0). \quad (5)$$

либо решение регулярно. Допустим справедливо (5). Определим решение этого дифференциального уравнения, для чего подставим

часть решения в виде полюса  $x_N = \frac{\alpha}{(V - t_1)^\beta}$  в уравнение

$$\frac{dx_N}{dV} = (x_N - a_N^{K+1})^2 \prod_{k=1}^K (x_N - a_N^k). \quad (6)$$

При этом оказывается, что приравниваются члены  $\frac{-\alpha\beta}{(V - t_1)^{\beta+1}} = \frac{\alpha^{K+2}}{(V - t_1)^{\beta(K+2)}}$ , что приводит к равенству  $\beta + 1 = \beta(K + 2)$ ,  $\beta = 1/(K + 1) \neq 1$  и для множителя справедливо  $-\beta = \alpha^{K+1}$ . При этом решение при условии  $\beta = 1/(K + 1)$  имеет сложную структуру и не имеет однозначного решения в комплексной плоскости, т. е. в точке  $t_1$  имеется ветвление решения и значит, возможен переход к комплексному решению. Откуда имеем  $\alpha = [-\ln(K + 1) - i\pi + 2i\pi\tau]/(K + 1)$ . Т. е. решение в этом случае является турбулентным, комплексным и имеющим множество ветвей.

Допустим, решение регулярно. Разложим решение в окрестности точки  $a_N^{K+1}$  по положительным степеням  $V - t_1$ , т. е.  $x_N - a_N^{K+1} = b(V - t_1) + 0(V - t_1)^2$ . Тогда

решение представимо в виде

$$\lambda_N^{K+1} \ln(x_N - a_N^{K+1}) + \frac{\mu_N^{K+1}}{b(V - t_1)} = f(V).$$

Т. е. справедлива формула

$$x_N - a_N^{K+1} = \exp\left\{ \left[ f(V) - \frac{\mu_N^{K+1}}{b(V - t_1)} \right] / \lambda_N^{K+1} \right\}$$

Т. е. предположение о регулярности решения не подтверждается, решение имеет бесконечное число членов с отрицательной степенью  $V - t_1$ . Значит, решение имеет существенную особую точку при условии  $V = t_1$ .

При этом решение с существенной особой точкой определяется из уравнения (5).

$$x_N = a_N^{K+1} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{a_{-k}}{(V - t_1)^k} \quad (7)$$

Причем решение конечно до координаты положения равновесия, что следует из уравнения (4), т. е. ряд (7) имеет бесконечный радиус сходимости. Т. е. по мере приближения к положению равновесия  $a_l^{K+1}, l = 1, \dots, N$  координаты  $x_N$  величина  $V = H_N(t, t_0) \rightarrow \infty$ , что следует из уравнения (4) и (7), но при этом пересекает точку  $t_1$ , в которой происходит скачок решения. Этот скачок решения является произвольным, так как решение в виде ряда Лорана содержит существенную особую точку и при приближении к особой точке, значение функции  $x_N$  произвольно см. [1]§ 10. В результате решения в окрестности кратного положения равновесия, получаются ряды Лорана с существенной особой точкой.

Причем коэффициенты ряда Лорана могут оказаться многозначной функцией, так же как и решение в случае полюса.

При этом многозначное решение имеет вид ряда Лорана и может иметь существенно особую точку, а может быть многозначное решение имеет вид

$$x_N = a_N^{K+1} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k (V - t_1)^k + \frac{[-\ln(K+1) - i\pi + 2i\pi s]}{(K+1)(V - t_1)^{1/(K+1)}}, V = H_N(t, t_0) \quad (7)$$

## Выводы

В случае кратных положений равновесия, решение имеет хаотический характер. Оно определяется рядом Лорана с существенно

особой точкой, и значит, по мере приближения аргумента функции к существенно особой точке наблюдается произвольное значение решения.

### **Список литературы:**

1. Смирнов В.И. Курс высшей математики, т. III, ч. 2., М.: «Наука», 1974 г., — 672 с.
2. Якубовский Е. Комплексные, ограниченные решения уравнений в частных производных «Теоретические и практические аспекты естественных и математических наук»: Материалы международной заочной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «СибАК», 2012 г., — стр. 19—30. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [www.sibac.info](http://www.sibac.info)
3. Якубовский Е. Решение уравнения Навье-Стокса. Применение решений и следствие из них. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, — 102 с.
4. Якубовский Е. Турбулентные течения в цилиндрических трубах. Экспериментальное подтверждение комплексного решения. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, — 52 с.

## 1.2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА, АЛГЕБРА И ТЕОРИЯ ЧИСЕЛ

### ОПЕРАЦИИ ЛОГИКИ В БИНАРНЫХ ОТНОШЕНИЯХ

*Нестерова Лариса Юрьевна*

*канд. пед. наук, доцент Арзамасского филиала Нижегородского  
государственного университета им. Н.И. Лобачевского,*

*РФ, г. Арзамас*

*E-mail: [lar.nesterowa2011@yandex.ru](mailto:lar.nesterowa2011@yandex.ru)*

### LOGIC OPERATIONS IN THE BINARY RELATIONS

*Nesterova Larisa*

*edging, pedagogical sciences, the associate professor of the Arzamas  
branch of the Nizhny Novgorod state university of N.I. Lobachevsky,*

*Russia, Arzamas*

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрено применение операций логики при проверке свойств бинарных отношений. Особое место отводится доказательству свойств антирефлексивности и транзитивности бинарных отношений. Именно знание законов логики, в частности, операции импликации, позволяет сделать правильный вывод в установлении указанных свойств.

#### ABSTRACT

Application of operations of logic when checking properties of the binary relations is considered. The special place is allocated for the proof of properties of anti-reflexivity and transitivity of the binary relations. The knowledge of laws of logic, in particular, implication operations, allows to draw the correct conclusion in establishment of the specified properties.

**Ключевые слова:** бинарные отношения; операции над высказываниями; свойства бинарных отношений.

**Keywords:** binary relations; operations over statements; properties of the binary relations

Рассмотрим бинарные отношения. Укажем основные пять свойств: рефлексивность, антирефлексивность, симметричность, антисимметричность и транзитивность.

Рефлексивность:  $\forall a \in A : (a, a) \in \rho$

Антирефлексивность:  $\forall a \in A : (a, a) \notin \rho$

Симметричность:  $\forall a, b \in A : (a, b) \in \rho \rightarrow (b, a) \in \rho$

Антисимметричность:

$\forall a, b \in A : (a, b) \in \rho \wedge (b, a) \in \rho \rightarrow a = b$

Транзитивность:

$\forall a, b, c \in A : (a, b) \in \rho \wedge (b, c) \in \rho \rightarrow (a, c) \in \rho$

Для правильного определения свойств бинарных отношений рассмотрим основные операции над высказываниями: отрицание, конъюнкция, дизъюнкция, импликация, эквиваленция. Результаты операций приведем в таблице № 1, в которой истинное высказывание обозначим — И, ложное — Л.

*Таблица 1.*

**Результаты операций логики**

A	B	$\overline{A}$	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \rightarrow B$	$A \leftrightarrow B$
Л	Л	И	Л	Л	И	И
Л	И	И	Л	И	И	Л
И	Л	Л	Л	И	Л	Л
И	И	И	И	И	И	И

Проверим выполнимость основных свойств бинарных отношений:

1.  $\rho \subseteq R \times R, \rho = \{x \geq y | x \in R, y \in R\}$

1.1. Рефлексивность:  $\forall a \in R : (a, a) \in \rho : \forall x \leq x$ . Данное неравенство верно для любого x. Рефлексивность верна.

1.2. Антирефлексивность:  $\forall a \in A : (a, a) \notin \rho : \forall x > x$ . Неравенство неверно, приведем пример  $5 > 5$  (Л). Антирефлексивность не выполняется.

1.3.  $\forall a, b \in A : (a, b) \in \rho \rightarrow (b, a) \in \rho : \forall x, y \in R : x \geq y \rightarrow y \geq x$ .

Для того, чтобы доказать, что симметричность не выполняется используем значения таблицы №1, на пересечении шестого столбца

и четвертой строки имеем:  $I \rightarrow L = L$ . В соответствии с этим приводим пример, в котором посылка истина, а заключение ложно.  $15 \geq 10$  (И), но  $10 \geq 15$  (Л), следовательно, импликация ложна. Симметричность не выполняется.

#### 1.4. Антисимметричность:

$\forall a, b \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, a) \in \rho \rightarrow a = b: \forall x, y \in R: x \geq y \wedge y \geq x \rightarrow x = y$ .  
 Необходимо установить при каких условиях посылка будет ложной или истиной. Посылка состоит из двух высказываний, которые связаны операцией конъюнкцией (таблица № 1, столбик четвертый). Результат этой операции истинный только в одном случае, когда оба утверждения истины. Если это так, то посылка будет истина. Однако, в остальных случаях результат операции будет ложен. Отметим, что в этом случае либо первое, либо второе высказывания ложны. Таким образом, посылка будет ложна и в соответствии с определением операции импликации (шестой столбик), не зависимо от заключения, импликация принимает только истинное значения.

Однако, в частном случае получаем: при  $x = 5, y = \frac{1}{2}$  следующее

высказывание, которое является истинным:  $5 \geq \frac{1}{2} \wedge \frac{1}{2} \geq 5 \rightarrow 5 = \frac{1}{2}$ .

Без знаний операций логики установить истинность данного высказывания проблематично.

Антисимметричность выполняется.

#### 1.5. Транзитивность:

$\forall a, b, c \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, c) \in \rho \rightarrow (a, c) \in \rho;$

$\forall x, y, z \in R: x \geq y \wedge y \geq z \rightarrow x \geq z$

Транзитивность выполняется по свойству неравенств, так как  $x \geq y \geq z \rightarrow x \geq z$

Данное бинарное отношение: рефлексивно, антисимметрично и транзитивно.

2.  $\rho \subseteq R \times R, \rho = \{x: y | x \in R, y \in R\}$

#### 2.1. Рефлексивность:

$\forall a \in R: (a, a) \in \rho: \forall x \in R: x: x$ . Данное неравенство верно для любого  $x$ . Рефлексивность верна.

2.2. Антирефлексивность:

$\forall a \in A: (a, a) \notin \rho: \forall \in R: x: x$ . Неравенство неверно, приведем пример 16:16(Л). Антирефлексивность не выполняется.

2.3. Симметричность:

$$\forall a, b \in A: (a, b) \in \rho \rightarrow (b, a) \in \rho: \forall x \in R: x: y \rightarrow y: x.$$

Для того, чтобы доказать, что симметричность не выполняется используем значения таблицы № 1 (столбик 6), приведем следующий пример 15:5  $\rightarrow$  5:15. Видим, что посылка истина, а заключение ложно. По таблицы результат импликации ложен. Симметричность не выполняется.

2.4. Антисимметричность:

$$\begin{aligned} \forall a, b \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, a) \in \rho \rightarrow a = \\ = b: \forall x, y \in R: x: y \wedge y: x \rightarrow x = y. \end{aligned}$$

Используем аналогичные рассуждения, что и при проверке симметричности, получим:  $-5:5 \wedge 5:-5 \rightarrow -5 = 5$  ( $И \rightarrow Л = Л$ ).

Антисимметричность не выполняется.

2.5. Транзитивность:

$$\forall a, b, c \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, c) \in \rho \rightarrow (a, c) \in \rho:$$

$\forall x, y, z \in R: x: y \wedge y: z \rightarrow x: z$ . Докажем, что транзитивность имеет место. Если  $x: y \wedge y: z$ , тогда можно записать  $x = m \cdot y(1) \wedge y = n \cdot z(2)$ , подставим  $y$  из (2) уравнения в первое, получим  $x = m \cdot n \cdot z(3)$ , следовательно,  $x: z$ . Транзитивность имеет место.

Бинарное отношение — рефлексивно и транзитивно.

$$3. \quad \rho \subseteq R \times R, \rho = \{x + 5 < y \mid x \in R, y \in R\}$$

$$3.1. \text{ Рефлексивность: } \forall a \in R: (a, a) \in \rho: \forall x \in R: x + 5 < x.$$

Данное неравенство неверно для любого  $x$ , приведем пример 10+5<5 (Л).

Рефлексивность неверна.

3.2. Антирефлексивность:

$\forall a \in A: (a, a) \notin \rho: \forall x \in R: x + 5 \geq x$ . Неравенство верно не для любого  $x$ ,  $x - x \geq -5$ , преобразуем неравенство, следова-

тельно,  $0 \geq -5$ , неравенство верно. Анtireфлексивность выполняется.

3.3. Симметричность:

$$\forall a, b \in A: (a, b) \in \rho \rightarrow (b, a) \in \rho: \forall x, y \in R: x + 5 < y \rightarrow y + 5 < x$$

Для того, чтобы доказать, что симметричность не выполняется используем значения таблицы №1, приведем следующий пример  $x = -2; y = 5$ , получим  $-2 + 5 < 5 \rightarrow 5 + 5 < -2$  Видим, что посылка истина, а заключение ложно. Симметричность не выполняется.

3. Антисимметричность:

$$\forall a, b \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, a) \in \rho \rightarrow a = b;$$

$$\forall x, y \in R: x + 5 < y \wedge y + 5 < x \rightarrow x = y. \quad \text{Преобразуем}$$

посылку: к неравенству  $x + 5 < y$ , к левой и правой частям прибавим число 5, получим,  $x + 10 < y + 5$  по свойству неравенств запишем  $x + 10 < y + 5 < x$ , после преобразований имеем  $x + 10 < x$ , следовательно,  $10 < 0$ . Таким образом, посылка всегда ложна, а результат импликации истинный.

Антисимметричность выполняется.

3.5. Транзитивность:

$$\forall a, b, c \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, c) \in \rho \rightarrow (a, c) \in \rho;$$

$$\forall x, y, z \in R: x + 5 < y(1) \wedge y + 5 < z(2) \rightarrow x + 5 < z(3).$$

Докажем, что транзитивность имеет место. Прибавим к левой и правой частям неравенства (1) число 5, получим  $x + 10 < y + 5(1')$ , запишем  $y + 5 < z(2)$  по свойству неравенств имеем  $x + 10 < z(4)$ . Сравним множество решений (4) и (3) неравенств. Неравенство (4) имеет решение  $x < -10 \wedge z > 10(5)$ , а (3) —  $x < -5 \wedge z > 5(6)$ . Если выполняется (5), то (6) будет иметь место автоматически, следовательно, транзитивность верна.

Бинарное отношение — анtireфлексивно, антисимметрично и транзитивно.

$$4. \quad \rho \subseteq R \times R, \rho = \{x \cdot y = 30 \mid x \in R, y \in R\}$$

4.1. Рефлексивность:

$\forall a \in R : (a, a) \in \rho : \forall x \in R : x \cdot x = 30$ . Данное неравенство неверно для любого  $x$ , приведем пример  $5 \cdot 5 = 30$  (Л). Рефлексивность неверна.

4.2. Антирефлексивность:

$\forall a \in A : (a, a) \notin \rho : \forall x \in R : x \cdot x \neq 30$ . При  $x = \sqrt{30}$  получим,  $\sqrt{30} \cdot \sqrt{30} \neq 30$  (Л). Антирефлексивность не выполняется.

4.3. Симметричность:

$$\forall a, b \in A : (a, b) \in \rho \rightarrow (b, a) \in \rho : \forall x, y \in R : x \cdot y = 30 \rightarrow y \cdot x = 30$$

Для любых действительных чисел имеет место коммутативность умножения, то есть  $x \cdot y = y \cdot x$ . Симметричность выполняется.

4.4. Антисимметричность:

$\forall a, b \in A : (a, b) \in \rho \wedge (b, a) \in \rho \rightarrow a = b$ ;  
 $\forall x, y \in R : x \cdot y = 30 \wedge y \cdot x = 30 \rightarrow x = y$ . Приведем пример (таблица 1), при котором посылка истина, а заключение ложно:  $2 \cdot 15 = 30 \wedge 15 \cdot 2 = 30 \rightarrow 2 = 15$ . Антисимметричность не выполняется.

4.5. Транзитивность:

$\forall a, b, c \in A : (a, b) \in \rho \wedge (b, c) \in \rho \rightarrow (a, c) \in \rho$ ;  
 $\forall x, y, z \in R : x \cdot y = 30(1) \wedge y \cdot z = 30(2) \rightarrow x \cdot z = 30(3)$ .  
Докажем, что транзитивность не выполняется. Приведем пример:  $5 \cdot 6 = 30 \wedge 6 \cdot 5 = 30 \rightarrow 5 \cdot 5 = 30$  (Л), следовательно, транзитивность не имеет место.

Бинарное отношение — симметрично.

5.  $\rho \subseteq R \times R, \rho = \{x^2 + y^2 \geq 25 \mid x \in R, y \in R\}$

5.1. Рефлексивность:

$$\forall a \in R : (a, a) \in \rho : \forall x \in R : x^2 + x^2 \geq 25.$$

Данное неравенство неверно для любого  $x$ , приведем пример  
 $x = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2} \geq 25$  (Л). Рефлексивность неверна.

5.2. Антирефлексивность:

$\forall a \in A: (a, a) \notin \rho: \forall x \in R: x^2 + x^2 < 25$ . Неравенство  
 верно, но не для любого  $x$ ,  $2 \cdot 25 < 25$  (Л).

Антирефлексивность неверна.

5.3. Симметричность:

$$\forall a, b \in A: (a, b) \in \rho \rightarrow (b, a) \in \rho: \forall x, y \in R: x^2 + y^2 \leq 25 \rightarrow y^2 + x^2 \leq 25$$

Для любых действительных чисел имеет место коммутативность  
 умножения, то есть  $x \cdot y = y \cdot x$ . Симметричность выполняется.

5.4. Антисимметричность:

$$\forall a, b \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, a) \in \rho \rightarrow a = b;$$

$$\forall x, y \in R: x^2 + y^2 \leq 25 \wedge y^2 + x^2 \leq 25 \rightarrow x = y.$$

Рассмотрим случай, когда  $x = -\frac{1}{3}; y = \frac{1}{15}$  тогда

$$\frac{1}{9} + \frac{1}{225} \leq 25 \wedge \frac{1}{225} + \frac{1}{9} \leq 25 \rightarrow \frac{1}{9} = \frac{1}{225}. \quad \text{Получили}$$

высказывание вида  $I \rightarrow J = J$ . Антисимметричность  
 не выполняется.

5.5. Транзитивность:

$$\forall a, b, c \in A: (a, b) \in \rho \wedge (b, c) \in \rho \rightarrow (a, c) \in \rho:$$

$$\forall x, y, z \in R: x^2 + y^2 \leq 25(1) \wedge y^2 + z^2 \leq 25(2) \rightarrow x^2 + z^2 \leq 25(3)$$

Докажем, что транзитивность не выполняется. Приведем пример:

$x = 0; y = 0, z = -5$ , тогда

$25 + 0 \leq 25 \wedge 0 + 25 \leq 25 \rightarrow 25 + 25 \leq 25$ , следовательно, транзитивность не имеет место.

Бинарное отношение — симметрично.

Использование операций логики при проверке свойств бинарных отношений позволяет сделать правильный вывод. Особое внимание следует обратить на доказательство свойств антирефлексивности и транзитивности бинарных отношений, так как в частных случаях, при конкретных значениях  $x, y, z$  получаем высказывания истинность или ложность, которых установить достаточно проблематично. Именно знание законов логики, в частности, операции импликации, позволяет сделать правильный вывод в установлении указанных свойств.

### **Список литературы:**

1. Куликов Л.Я. Алгебра и теория чисел: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1979. — 559 с.
2. Шнеперман Л.Б. Сборник задач по алгебре и теории чисел: учеб. пособие. Изд-во: Лань, 2008. — 224 с.

## СЕКЦИЯ 2.

### ФИЗИКА

#### 2.1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

##### УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕЛИНЕЙНО-НЕОДНОРОДНОЙ ТРУБЫ В СЛУЧАЕ ПРИ ТРАНСЛЯЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ

*Никитин Андрей Витальевич*

*аспирант кафедры математического анализа  
Чувашского государственного педагогического университета  
им. И. Я. Яковлева,  
РФ, г. Чебоксары  
E-mail: [Ligalas5@mail.ru](mailto:Ligalas5@mail.ru)*

##### ELASTOPLASTIC STATES OF NONLINEAR INHOMOGENEOUS PIPES IN CASE WHEN TRANSLATIONAL ANISOTROPY

*Andrey Nikitin*

*postgraduate student, Department of Mathematical Analysis,  
I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University,  
Russia, Cheboksary*

##### АННОТАЦИЯ

В работе исследуется упругопластическое состояние нелинейно-неоднородной трубы при трансляционной анизотропии. Предполагается, что предел текучести постоянен вдоль эллиптических кривых. Труба находится под действием внутреннего давления.

Определены напряжённое состояние и граница раздела упругой и пластической областей в нулевом и первом приближении.

### ABSTRACT

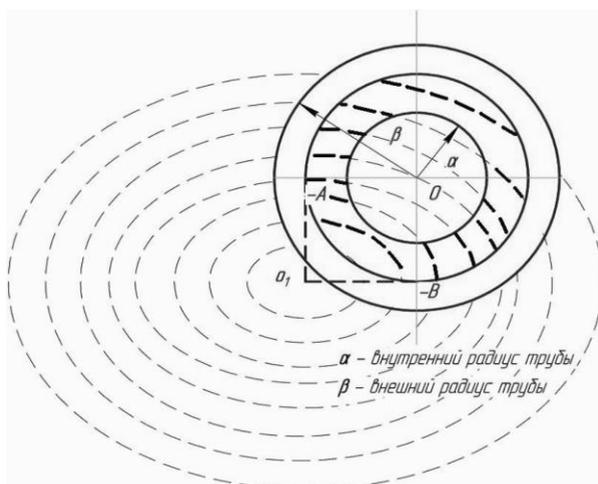
We study the nonlinear elastic-plastic state inhomogeneous pipe at the translational anisotropy. It is assumed that the yield stress is constant along the elliptic krivyh.Truba is subjected to internal pressure. Defined state of stress and interface elastic and plastic regions in zero and first approximation.

**Ключевые слова:** труба; упругость; пластичность; анизотропия.  
**Keywords:** pipe; firmness; plasticity; anisotropy.

Условие пластичности для толстостенной трубы радиусов  $\alpha, \beta$ ,  $\alpha < \beta$  (рис. 1) согласно [1] имеет следующий вид:

$$\left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} - \frac{k_1 - k_2}{2} \right)^2 + (\tau_{xy} - k_3)^2 = k_{xy}^2, \quad k_1, k_2, k_3 - const, \quad (1)$$

где:  $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$  — компоненты напряжения в декартовой системе координат.



**Рисунок 1.** Толстостенная труба радиусов  $\alpha, \beta$ ,  $\alpha < \beta$

Предел текучести определим в виде:

$$k_{xy} = k_0 + \delta \left( \frac{(x+A)^2}{\bar{a}^2} + \frac{(y+B)^2}{\bar{b}^2} \right), \quad k_0, \bar{a}, \bar{b}, A, B - \text{const}, \quad (2)$$

где:  $\delta$  — малый безразмерный параметр.

Перейдем к полярным координатам в формуле (1):

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2} \cos 2\theta + \tau_{\rho\theta} \sin 2\theta, \\ \sigma_y &= \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2} - \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2} \cos 2\theta - \tau_{\rho\theta} \sin 2\theta, \quad (3) \\ \tau_{xy} &= -\frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{2} \sin 2\theta + \tau_{\rho\theta} \cos 2\theta, \\ x &= \rho \cos \theta, \quad y = \rho \sin \theta. \quad (4) \end{aligned}$$

Из (3), (4) условие пластичности в полярных координатах будет иметь вид:

$$\begin{aligned} &\left( \frac{\sigma_\rho^p - \sigma_\theta^p}{2} \right)^2 + \left( \tau_{\rho\theta}^p \right)^2 - 2R \left( \frac{\sigma_\rho^p - \sigma_\theta^p}{2} \right) \cos(2\theta + \mu) - \\ &\quad - 2\tau_{\rho\theta}^p \sin(2\theta + \mu) R + R^2 - \\ &\quad - 1 - 2\delta \left( \frac{(\rho \cos \theta + A)^2}{\bar{a}^2} + \frac{(\rho \sin \theta + B)^2}{\bar{b}^2} \right) = 0, \quad (5) \end{aligned}$$

$$\text{где } R = \sqrt{\left( \frac{k_1 - k_2}{2} \right)^2 + k_3^2}, \quad \frac{k_1 - k_2}{2R} = \cos \mu, \quad \frac{k_3}{R} = \sin \mu,$$

Предположим:  $k_1 = \delta k'_1$ ,  $k_2 = \delta k'_2$ ,  $k_3 = \delta k'_3$ , (6)

с учетом обозначений имеем:  $R = \delta R'$ ,  $R' = \sqrt{\left(\frac{k'_1 - k'_2}{2}\right)^2 + (k'_3)^2}$

Уравнения равновесия в полярной системе координат:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0, \\ \frac{\partial \tau_{\rho\theta}}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{2\tau_{\rho\theta}}{\rho} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Разложим напряжение  $\sigma_{ij}$  и радиус пластической зоны  $\rho_s$  по малому параметру  $\delta$ :

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(0)} + \sigma_{ij}^{(I)} \delta + \sigma_{ij}^{(II)} \delta^2 + \dots, \quad \rho_s = \rho_s^{(0)} + \rho_s^{(I)} \delta + \rho_s^{(II)} \delta^2 + \dots, \quad (8)$$

В нулевом приближении для осесимметрического состояния трубы

$$\tau_{\rho\theta}^{(0)} = 0, \quad (9)$$

Из (1), (7), (9) получим:

$$\sigma_\rho^{(0)p} - \sigma_\theta^{(0)p} = -2. \quad (10)$$

Совместное решение соотношений (7), (9), (10) даёт:

$$\sigma_\rho^{(0)p} = 2 \ln \rho + C, \quad \sigma_\theta^{(0)p} = 2 + 2 \ln \rho + C, \quad (11)$$

где:  $C$  — const.

Предполагается постоянное давление  $p$  на внутренней границе трубы а также то, что внешняя граница трубы свободна от усилий:

$$\sigma_{\rho}^{(0)p} \Big|_{\rho=\alpha} = -p, \quad \sigma_{\rho}^{(0)e} \Big|_{\rho=\beta} = 0, \quad (12)$$

Решая совместно (11), (12) получаем

$$\sigma_{\rho}^{(0)p} = -p + 2 \ln \frac{\rho}{\alpha}, \quad \sigma_{\theta}^{(0)p} = -p + 2 + 2 \ln \frac{\rho}{\alpha}. \quad (13)$$

В упругой области нулевое приближение имеет вид:

$$\sigma_{\rho}^{(0)e} = A - B \frac{1}{\rho^2}, \quad \sigma_{\theta}^{(0)e} = A + B \frac{1}{\rho^2}, \quad \tau_{\rho\theta}^{(0)e} = 0. \quad (14)$$

Условия сопряжения компонент напряжений на упруго-пластической границе:

$$\sigma_{\rho}^{(0)p} \Big|_{\rho=1} = \sigma_{\rho}^{(0)e} \Big|_{\rho=1}, \quad \sigma_{\theta}^{(0)p} \Big|_{\rho=1} = \sigma_{\theta}^{(0)e} \Big|_{\rho=1}. \quad (15)$$

Из (13), с учетом (12) и (15) получаем

$$\sigma_{\rho}^{(0)e} = \frac{p + 2 \ln \alpha}{\beta^2 - 1} \left( 1 - \frac{\beta^2}{\rho^2} \right), \quad \sigma_{\theta}^{(0)e} = \frac{p + 2 \ln \alpha}{\beta^2 - 1} \left( 1 + \frac{\beta^2}{\rho^2} \right). \quad (16)$$

В нулевом приближении радиус упругопластической зоны определяется соотношением  $\beta^2 = \frac{1}{1 - 2 \ln \alpha - p}$ .

Из (1), (2),(4), (8), (10), (11) имеем:

$$\sigma_{\theta}^{(l)p} - \sigma_{\rho}^{(l)p} = -2R' \cos(2\theta + \mu) + 2 \left( \frac{(A + \rho \cos \theta)^2}{a^2} + \frac{(B + \rho \sin \theta)^2}{b^2} \right). \quad (17)$$

Положим:

$$\sigma_{\rho}^{(I)p} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2}, \quad \sigma_{\theta}^{(I)p} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \rho^2}, \quad \tau_{\rho\theta}^{(I)p} = -\frac{\partial}{\partial \rho} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right). \quad (18)$$

Из (17), (18) получим:

$$\begin{aligned} \rho^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \rho^2} - \rho \frac{\partial \Phi}{\partial \rho} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2} = & -2R' \rho^2 \cos(2\theta + \mu) + \\ & + 2\rho^2 \left( \frac{(A + \rho \cos \theta)^2}{a^2} + \frac{(B + \rho \sin \theta)^2}{b^2} \right). \end{aligned} \quad (19)$$

Условия равновесия (7) удовлетворяются соотношением (18). С учетом (17), (19) значений граничных условий в первом приближении [1]:

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho}^{(I)p} |_{\rho=\alpha} &= 0, \\ \tau_{\rho\theta}^{(I)p} |_{\rho=\alpha} &= 0. \end{aligned} \quad (20)$$

находим решение в пластической зоне:

$$\begin{aligned} \sigma_{\rho}^{(I)p} = & \frac{2(b^2 A \cos \theta + B a^2 \sin \theta)(\rho^4 - \alpha^4)}{a^2 b^2 \rho} + \\ & + \cos(2\theta + \mu) \left( \frac{R' \alpha^2}{a^2} - \frac{\alpha}{\rho} \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \right) + \\ & + \frac{2}{a^2 b^2} (b^2 A^2 + a^2 B^2) \ln \left( \frac{\rho}{\alpha} \right) + \frac{\alpha R'}{\rho} \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \cos(2\theta - \mu) + \\ & + \frac{1}{3\rho a^2 b^2} \left( \cos(2\theta) \alpha^3 (b^2 - a^2) \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{\theta}^{(I)p} = & -\frac{2\alpha^4}{a^2b^2\rho} (b^2a \cos \theta + a^2b \sin \theta) - \\
& -R' \cos(2\theta + \mu) \left( \frac{\alpha}{\rho} \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \cos(2\theta - \mu) + 1 \right) + \\
& + \frac{\alpha^2 \sqrt{3} \cos(2\theta) (a^2 - b^2) \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right)}{3a^2b^2\rho} + \\
& + \frac{\alpha R' \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \cos(2\theta - \mu)}{\rho} + \\
& + \left( \frac{a^2 + b^2}{6a^2b^2\rho} \right) (9\rho^3 - 3\alpha^2\rho) + \\
& + \left( \frac{b^2A^2 + a^2B^2}{6a^2b^2\rho} \right) \left( 12\rho \left( \ln \frac{\rho}{\alpha} + 1 \right) \right) + \frac{6\rho}{a^2b^2} (b^2a \cos \theta + a^2b \sin \theta), \\
\end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
\tau_{\rho\theta}^{(I)p} = & \frac{2(Ba^2 \cos \theta - Ab^2 \sin \theta)(\alpha^2 - \rho^2)}{a^2b^2\rho} + \\
& + \sin(2\theta + \mu) \frac{R'\alpha}{\rho} \left( \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) + \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \right) + \\
& + \frac{\sin(2\theta) \alpha^3 (a^2 - b^2) \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) (\sqrt{3} + 3)}{6a^2b^2\rho} + \\
& + \frac{\rho^2}{2a^2b^2} (b^2 - a^2) \sin(2\theta).
\end{aligned}$$

Тогда на упругопластической границе при  $\rho = 1$  из (21) вытекает:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\rho}^{(I)p} &= a_0'' + a_1'' \cos \theta + b_1'' \sin \theta + a_2'' \cos 2\theta + b_2'' \sin 2\theta, \\
\tau_{\rho\theta}^{(I)p} &= a_0''' + a_1''' \cos \theta + b_1''' \sin \theta + a_2''' \cos 2\theta + b_2''' \sin 2\theta,
\end{aligned} \tag{22}$$

где

$$a_2'' = \left( \frac{R'\alpha^2}{a^2} - R'\alpha \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \cos \mu - \sqrt{3}\alpha R' \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \cos \mu - \\ - \frac{1}{3a^2b^2} \alpha^3 (b^2 - a^2) \sin(\sqrt{3} \ln \alpha),$$

$$b_2'' = - \left( \frac{R'\alpha^2}{a^2} - \alpha R' \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \sin \mu - \sqrt{3}\alpha R' \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \sin \mu,$$

$$a_2''' = R'\alpha \left( \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) + \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \sin \mu,$$

$$b_2''' = R'\alpha \left( \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) + \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \cos \mu +$$

$$+ \frac{\alpha^3 (a^2 - b^2) \left( 3 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right)}{6a^2b^2} + \frac{(b^2 - a^2)}{2a^2b^2},$$

$$a_1'' = \frac{2A}{a^2} (1 - \alpha^2), b_1'' = \frac{2B}{b^2} (1 - \alpha^2), a_1''' =$$

$$= \frac{2B}{b^2} (\alpha^2 - 1), b_1''' = -\frac{2A}{a^2} (\alpha^2 - 1),$$

$$a_0'' = \frac{-2}{a^2b^2} (b^2A^2 + a^2B^2) \ln(\alpha), a_0''' = 0.$$

(23)

Для упругой области согласно [1] находим напряжения:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\rho}^{(I)e} &= \frac{2(b^2 A^2 + a^2 B^2)(\rho^2 - \beta^2) \ln(\alpha)}{(\beta^2 - 1)a^2 b^2 \rho^2} + \\
&+ \frac{2(\alpha^2 - 1)(\rho^4 - \beta^4)}{\rho^3(\beta^4 - 1)} \left( \frac{A \cos \theta}{a^2} + \frac{B \sin \theta}{b^2} \right) + \\
&+ \frac{1}{3} \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N a^2 b^2} \left[ \left( (\beta^4 \rho^4) (-\beta^2 \rho^2 + 2\beta^4 \rho^2 - 2\beta^2 + 4 - 2\beta^6) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \beta^4 (-3 + 2\rho^2 - 1 + \beta^4) - \rho^4 \right) \alpha \cdot \right. \\
&\quad \cdot \left[ \left( (-3b^2 R' \alpha + 3b^2 a^2 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha)) \cos(2\theta + \mu) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + (3a^2 b^2 R' \sin(\sqrt{3} \ln \alpha)) \cos(2\theta - \mu) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + (b^2 - a^2) \alpha^2 \cos(2\theta) \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \right] + \\
&+ \frac{1}{3} \frac{1}{\rho^4 N a^2 b^2} \left[ \left( (\rho^2(1 - \rho^2) + \beta^2 \rho^2 (\rho^4 - \beta^2) + \beta^2 (\beta^2 - 1)) \right) \cdot \right. \\
&\quad \cdot \left( (6R' \alpha a^2 b^2 (-\sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) + \cos(\sqrt{3} \ln \alpha))) \right) \cdot \\
&\quad \cdot \left. \cos(2\theta + \mu) + 3 \cos(2\theta) (a^2 - b^2) \left( \frac{\sqrt{3}}{3} \alpha^2 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) - 1 \right) \right], \\
\sigma_{\theta}^{(I)e} &= - \frac{2(b^2 A^2 + a^2 B^2)(\rho^2 + \beta^2) \ln\left(\frac{1}{\alpha}\right)}{(\beta^2 - 1)a^2 b^2 \rho^2} + \\
&+ \frac{2(\alpha^4 - 1)(3\rho^4 + \beta^4)}{\rho^3(\beta^4 - 1)} \left( \frac{A \cos \theta}{a^2} + \frac{B \sin \theta}{b^2} \right) + \\
&+ \frac{1}{3} \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N a^2 b^2} \left[ \left( (\beta^4 \rho^4) (\beta^2 - 2\beta^4 + \rho^2 \beta^2 - 4\rho^2) + \right. \right. \\
&\quad \left. \left. + \beta^4 (3 - 2\beta^2 - \beta^4) + \rho^4 (1 - 2\rho^2) \right) \alpha \cdot \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \cdot \left( \begin{aligned} & \left( -3b^2 R' \alpha + 3b^2 a^2 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \cos(2\theta + \mu) + \\ & + \left( 3a^2 b^2 R' \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \cos(2\theta - \mu) \\ & + (b^2 - a^2) \alpha^2 \cos(2\theta) \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \end{aligned} \right) + \\
& + \frac{1}{3} \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N a^2 b^2} \left( \begin{aligned} & \left( (\beta^4 \rho^4) (\beta^2 \rho^2 - 2\beta^4 \rho^2 + 3\rho^4 \beta^2 - 2\rho^4 - \beta^2 + 2 - \beta^6) + \right. \\ & \left. + \beta^4 (-3 + 2\beta^2 + \beta^4) + \rho^4 (1 - 2\rho^2) \right) \end{aligned} \right) \alpha \cdot \\
& \cdot \left( \begin{aligned} & (-3b^2 R' \alpha) \cos(2\theta - \mu) + 3 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) a^2 b^2 \sin(2\theta + \mu) + \\ & + 3 \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) R' a^2 b^2 \sin(2\theta - \mu) + \\ & + (b^2 - a^2) \alpha^2 \sin(2\theta) \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \end{aligned} \right) + \\
& + \frac{1}{6} \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N a^2 b^2} \left( \begin{aligned} & (\beta^2 \rho^2) \left( 2\beta^2 \rho^2 - 2\beta^4 \rho^2 + 3\rho^4 \beta^2 - \right. \\ & \left. - 4\rho^4 + \beta^2 + 2\beta^6 (1 - \rho^2) - \beta^6 + \rho^6 \right) \cdot \\ & \cdot \left( \begin{aligned} & \cos(2\theta + \mu) (-6R' \alpha a^2 b^2) \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) + \\ & + \sin(2\theta + \mu) (6R' \alpha a^2 b^2) \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + 3 \sin(2\theta) (a^2 - b^2) \cdot \\ & \cdot \left( \frac{\sqrt{3}}{3} \alpha^3 (\cos(\sqrt{3} \ln \alpha)) + \alpha^3 (\cos(\sqrt{3} \ln \alpha)) - 1 \right) \right) \end{aligned} \right) \Bigg) \Bigg) , \\
& \tau_{\rho\theta}^{(1)e} = \frac{2(\alpha^4 - 1)(3\rho^4 + \beta^4)}{\rho^3(\beta^4 - 1)} \left( \frac{A \sin \theta}{a^2} - \frac{B \cos \theta}{b^2} \right) + \\
& + \frac{1}{3} \frac{1}{\rho^4 N a^2 b^2} \left( \begin{aligned} & \left( (\beta^4 \rho^4) (1 - \beta^2 + 3\rho^2 - 4\rho^2 \beta^2) + \beta^6 (\beta^2 - 1) + \rho^6 \right) \cdot \\ & \cdot \left( \begin{aligned} & \cos(2\theta + \mu) (-6R' \alpha a^2 b^2) \cdot \left( \frac{\sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha)}{-\cos(\sqrt{3} \ln \alpha)} - \right) + 3 \cos(2\theta) (a^2 - b^2) \cdot \\ & \cdot \left( \alpha^3 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + \frac{\sqrt{3}}{3} \alpha^3 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) - 1 \right) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right) \Bigg) . \tag{24}
\end{aligned}$$

На основании(13), (14) в первом приближении получим:

$$\rho'_s = \frac{\sigma_{\theta}^{'p} - \sigma_{\theta}^{'e}}{\frac{d\sigma_{\theta}^{(0)e}}{d\rho} - \frac{d\sigma_{\theta}^{(0)p}}{d\rho}} = \frac{1}{4}(\sigma_{\theta}^{'e} - \sigma_{\theta}^{'p}). \quad (25)$$

Границу упругопластической области в первом приближении найдём из (21), (24), (25):

$$\rho'_s = \frac{1}{4}(\sigma_{\theta}^{'e} - \sigma_{\theta}^{'p}) = \frac{1}{4} \left( M_1 + M_2 + M_3 + \right. \\ \left. + M_4 - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 - N_5 - N_6 - N_7 \right), \quad (26)$$

где

$$M_1 = - \frac{2(b^2 A^2 + a^2 B^2)(\rho^2 + \beta^2) \ln\left(\frac{1}{\alpha}\right)}{(\beta^2 - 1)a^2 b^2 \rho^2},$$

$$M_2 = \frac{2(\alpha^4 - 1)(3\rho^4 + \beta^4)}{\rho^3(\beta^4 - 1)} \left( \frac{A \cos \theta}{a^2} + \frac{B \sin \theta}{b^2} \right),$$

$$M_3 = \frac{1}{3} \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N a^2 b^2} \left( \left( (\beta^4 \rho^4)(\beta^2 - 2\beta^4 + \rho^2 \beta^2 - 4\rho^2) + \right. \right. \\ \left. \left. + \beta^4(3 - 2\beta^2 - \beta^4) + \rho^4(1 - 2\rho^2) \right) \alpha \cdot \right. \\ \left. \left( (-3b^2 R' \alpha + 3b^2 a^2 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha)) \cos(2\theta + \mu) + \right. \right. \\ \left. \left. + (3a^2 b^2 R' \sin(\sqrt{3} \ln \alpha)) \cos(2\theta - \mu) + \right. \right. \\ \left. \left. + (b^2 - a^2) \alpha^2 \cos(2\theta) \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \right),$$

$$M_4 = \frac{1}{3} \frac{1}{\rho^4 N a^2 b^2} \left( \left( (\beta^4 \rho^4) (1 - \beta^2 + 3\rho^2 - 4\rho^2 \beta^2) + \beta^6 (\beta^2 - 1) + \rho^6 \right) \cdot \left( \cos(2\theta + \mu) (-6R' \alpha a^2 b^2) \cdot \begin{pmatrix} \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) - \\ -\cos(\sqrt{3} \ln \alpha) \end{pmatrix} + 3 \cos(2\theta) (a^2 - b^2) \cdot \left( \alpha^3 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + \frac{\sqrt{3}}{3} \alpha^3 \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) - 1 \right) \right) \right),$$

$$N_1 = -\frac{2\alpha^4}{a^2 b^2 \rho} (b^2 a \cos \theta + a^2 b \sin \theta),$$

$$N_2 = -R' \cos(2\theta + \mu) \left( \frac{\alpha}{\rho} \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \cos(2\theta - \mu) + 1 \right),$$

$$N_3 = \frac{\alpha^2 \sqrt{3} \cos(2\theta) (a^2 - b^2) \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right)}{3a^2 b^2 \rho},$$

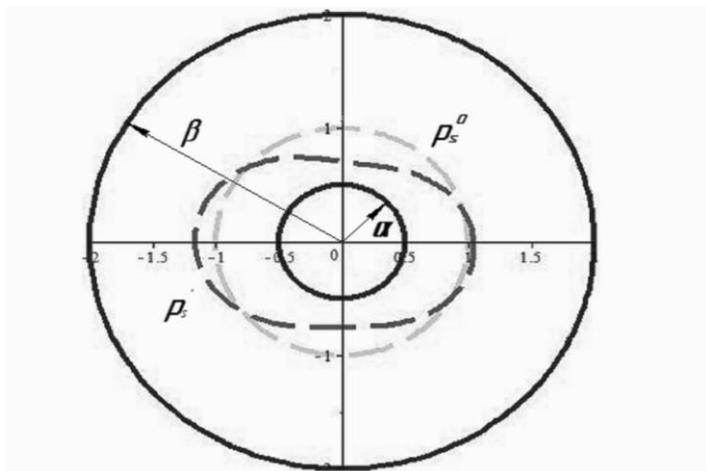
$$N_4 = \frac{\alpha R' \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \cos(2\theta - \mu)}{\rho},$$

$$N_5 = \left( \frac{a^2 + b^2}{6a^2 b^2 \rho} \right) (9\rho^3 - 3\alpha^2 \rho),$$

$$N_6 = \left( \frac{b^2 A^2 + a^2 B^2}{6a^2 b^2 \rho} \right) \left( 12\rho \left( \ln \frac{\rho}{\alpha} + 1 \right) \right),$$

$$N_7 = \frac{6\rho}{a^2 b^2} (b^2 a \cos \theta + a^2 b \sin \theta).$$

Граница раздела упругой и пластической областей в нулевом и первом приближении представлена на рис. 2.



$\rho_s^0$  – радиус раздела упругой и пластической областей в нулевом приближении  
 $\rho_s^1$  – радиус раздела упругой и пластической областей в первом приближении  
 $\alpha$  – внутренний радиус трубы  
 $\beta$  – внешний радиус трубы

**Рисунок 2. Граница раздела упругой и пластической областей в нулевом и первом приближении**

Определено напряженное состояние в пластической (21) и упругой (24) зонах. Изменение границы пластической зоны находится из соотношений (26).

### Список литературы:

1. Ивлев Д.Д. Метод возмущений в теории упругопластического тела / Д.Д. Ивлев, Л.В. Ершов. М.: Наука, 1978. — 208 с.
2. Ивлев Д.Д. О соотношениях теории трансляционной идеально-пластической анизотропии при обобщении условия пластичности Мизеса / Д.Д. Ивлев, Л.А. Максимова // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2010. — № 2 (8). — Ч. 3. — С. 583—584.
3. Кузнецов П.Н. Упругопластическое состояние неоднородной плоскости, ослабленной круговым отверстием, подкрепленной включениями, ограниченными эксцентрическими окружностями, при двусосном растяжении / П.Н. Кузнецов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2009. — № 1. — С. 134—141.

4. Максимова Л.А. Об упругопластическом состоянии неоднородной трубы, находящейся под действием внутреннего давления / Л.А. Максимова, С.В. Тихонов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2007. — № 2. — С. 91—95.
5. Митрофанова Т.В. Об условиях трансляционной анизотропии идеально-пластических тел при кручении / Т.В. Митрофанова // Вестник Чувашского государственного педагогического университета имени И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2010. — № 2 (8). — Ч. 3. — С. 596—600.

## 2.2. ОПТИКА

### **ФОРМИРОВАНИЕ СТИМУЛИРОВАННОГО ФОТОННОГО ЭХА В ТРЕХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВНЕШНИХ НЕРЕЗОНАНСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СТОЯЧИХ ВОЛН**

***Ахмедшина Екатерина Николаевна***

*аспирант кафедры образовательных технологий в физике КФУ,  
РФ, Республика Татарстан, г. Казань  
E-mail: [ekanika8@gmail.com](mailto:ekanika8@gmail.com)*

***Гарнаева Гузель Ильдаровна***

*канд. физ.-мат. наук, доцент КФУ,  
РФ, Республика Татарстан, г. Казань  
E-mail: [guzka-1@yandex.ru](mailto:guzka-1@yandex.ru)*

***Нефедьев Леонид Анатольевич***

*доктор физико-математических наук, профессор КФУ,  
РФ, Республика Татарстан, г. Казань  
E-mail: [nefediev@yandex.ru](mailto:nefediev@yandex.ru)*

# FORMATION OF THE STIMULATED PHOTON ECHO IN THE THREE-LEVEL SYSTEM IN THE PRESENCE OF THE EXTERNAL NONRESONANT ELECTROMAGNETIC STANDING WAVES

*Ahmedshin Ekaterina*

*graduate student in physics educational Technology CFI,  
Russia, Republic of Tatarstan, Kazan*

*Garnaeva Guzel*

*candidate of physico-mathematical sciences, professor CFI,  
Russia, Republic of Tatarstan, Kazan*

*Nefed'ev Leonid*

*doctor of physico-mathematical sciences, professor CFI,  
Russia, Republic of Tatarstan, Kazan*

## АННОТАЦИЯ

Исследован эффект «запираия» отклика стимулированного фотонного эха в трехуровневой системе, когда в качестве неоднородного внешнего возмущения, приводящего к случайным сдвигам или расщеплениям исходных монохромат неоднородно уширенной линии, выступает нерезонансное лазерное излучение.

## ABSTRACT

The effect of stimulated photon echo response «locking» in a three-level system in the case when the inhomogeneous external perturbations leading to random shifts or splitting of the original monochromats inhomogeneously broadened line, are nonresonant laser radiation investigated.

**Ключевые слова:** эффект «запираия» информации; трехуровневая система; стимулированное фотонное эхо; нерезонансное лазерное излучение.

**Keywords:** the effect of “locking” information; a three-level system; stimulated photon echo; nonresonant laser radiation

## Введение

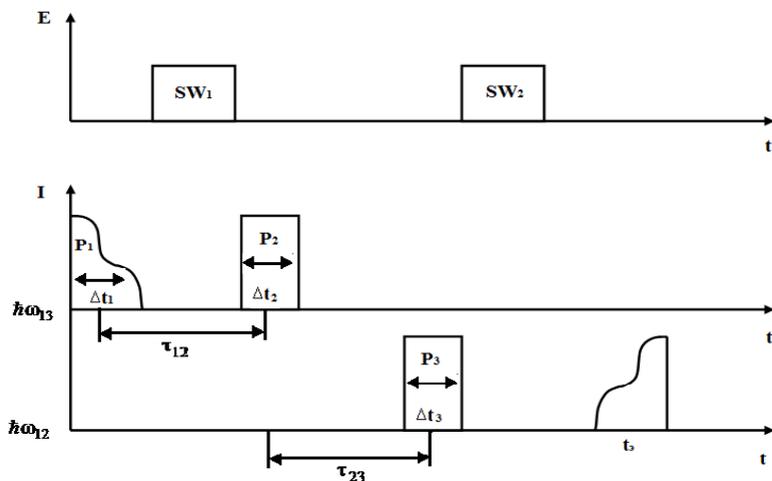
В работе [2] был теоретически предсказан и экспериментально подтверждён эффект запираия долгоживущего фотонного эха (ДФЭ)

в кристалле  $LaF_3Pr^{3+}$  (переход  ${}^3H_4 - {}^3P_0$ ,  $\lambda=477,7\text{нм}$ ) при воздействии на временном интервале между первым и вторым лазерными импульсами неоднородного электрического поля. В работе [1] исследован случай, когда стимулированное фотонное эхо (СФЭ) формируется в двухуровневой системе при наличии внешних нерезонансных стоячих электромагнитных волн и показано, что при наложении внешней нерезонансной стоячей электромагнитной волны происходит уменьшение интенсивности отклика СФЭ.

В данной работе исследована эффективность запирания отклика СФЭ в трехуровневой системе, когда в качестве неоднородного внешнего возмущения, приводящего к случайным сдвигам или расщеплениям исходных монохромат неоднородно уширенной линии, выступает нерезонансное лазерное излучение (стоячая волна).

### Основные уравнения

Рассмотрим схему возбуждения СФЭ в трехуровневой системе при наличии внешних нерезонансных электромагнитных стоячих волн (рис. 1).



*Рисунок 1. Порядок возбуждающих импульсов при формировании сигналов СФЭ при  $G>1$ :  $P_1, P_2, P_3$  — лазерные резонансные импульсы,  $\tau_{mn}$  — временной интервал между  $m$ -м и  $n$ -м импульсами,  $SW_1, SW_2$  — импульсы нерезонансных стоячих волн*

Для отыскания оператора эволюции системы и при ее возбуждении резонансным лазерным импульсом длительностью  $\Delta t_\eta$  в момент времени  $t_\eta$  используем результаты работы [4]. Зная оператор эволюции можно определить матрицу плотности после воздействия  $\eta$ -го лазерного импульса, где матричные элементы матрицы плотности получены в работе [3].

В случае взаимодействия трехуровневой системы с  $\eta$ -м резонансным лазерным импульсом и матрицей оператора взаимодействия в виде:

$$\begin{aligned} \tilde{V}^{(\eta)} &= P_{12}V_{12}^{(\eta)}e^{-i\omega_1 t} + P_{21}V_{21}^{(\eta)}e^{i\omega_1 t} + P_{13}V_{13}^{(\eta)}e^{-i\omega_1 t} + P_{31}V_{31}^{(\eta)}e^{i\omega_1 t}, \quad (1) \\ V_{ik}^{(\eta)} &= -\frac{E_{0\eta}}{2} d_{ik} \varepsilon_{ik}^{(\eta)}(t) e^{i\omega_{ij} t - i\vec{k}_\eta \vec{r}}, \end{aligned}$$

где:  $d_{ik}$  — дипольный момент перехода  $i$ - $k$ ,

$\varepsilon_{ij}^{(\eta)}(t)$  — огибающая напряженности электрического поля  $\eta$ -го лазерного импульса,

$P_{ij}$  — проективные матрицы (имеют элемент  $ij$  равный 1, а остальные элементы равны нулю),

$\vec{k}_\eta$  — волновой вектор  $\eta$ -го импульса,

$E_{0\eta}$  — амплитуда напряженности  $\eta$ -го лазерного импульса.

### **Эффективность запираания отклика СФЭ в трехуровневой системе при наличии внешних нерезонансных электромагнитных стоячих волн**

При воздействии нерезонансного лазерного излучения на образец, каждый  $j$ -й оптический центр, принадлежащий данной изохромате неоднородно уширенной линии, получает дополнительный частотный сдвиг  $f_{\alpha\beta}(\tau_\eta, \vec{r}_j)$  на переходе  $\alpha - \beta$  и в случае

стоячей волны (будем считать, что  $\vec{k}$  направлен вдоль оси  $Z$ ):

$$f_{\alpha\beta}(\tau_\eta, \vec{r}_j) \approx C_{\alpha\beta}^D E_{0\eta}^2 \cos^2\left(\frac{2\pi \cos(\theta)}{\lambda_2} Z\right) \quad (2)$$

где:  $C_{\alpha\beta}^D$  — постоянная динамического эффекта Штарка,

$\vec{k}$  — волновой вектор.

Для определения эффективности записывания информации, закодированной во временной форме объектного лазерного импульса,

определим его площадь как  $P = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} E(t) dt$ . Тогда величина

$W = \frac{P^2}{\Delta t}$ , будет определять мощность отклика.

Используя формулы (1—2) и результаты работы [3], получим выражение для пространственно-временной структуры отклика СФЭ в случае, когда  $\Gamma > 1$ :

$$E \approx \int_{V=-\infty}^{+\infty} \int g(\Delta_{12}) d\Delta_{12} \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3 \tilde{S}_{13}^{*(1)}(\Delta_{12}, \Gamma) \tilde{S}_{13}^{(2)}(\Delta_{12}, \Gamma) \tilde{S}_{12}^{(3)}(\Delta_{12}) \exp \{ i\Delta_{12}(t - \tau_1 - \tau_2) - i\Delta_{12}\Gamma \tau_1 + i\Gamma \cos^2 \left( \frac{2\pi}{\lambda_1} Z \right) C_{13}^{(D)} E_1^2 \tau_1 - \cos^2 \left( \frac{2\pi \cos(\theta)}{\lambda_2} Z \right) C_{12}^{(D)} E_2^2 (t - \tau_1 - \tau_2) \} dV \quad (3)$$

где  $S^{(\eta)}(t) = \varepsilon^{(\eta)}(t) e^{-i\vec{k}_\eta \vec{r}}$ ,

$$\tilde{S}^{(\eta)}(\Delta) = \int_{t_\eta - \Delta t_\eta / 2}^{t_\eta + \Delta t_\eta / 2} S^{(\eta)}(t) e^{-i\hbar^{-1} \Delta t} dt,$$

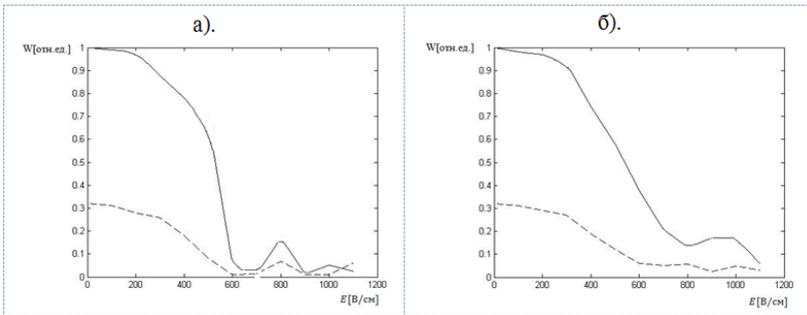
т. е.  $\tilde{S}^{(\eta)}(\Delta)$  представляет спектр огибающей  $\eta$ -го импульса,

$\Delta_{13} = \Delta_{12}\Gamma$ ,  $\theta_\eta$  — площадь  $\eta$ -го импульса,  $\Gamma = \frac{\Omega_{13}}{\Omega_{12}}$  —

параметр неэквидистантности спектра системы,  $\Omega_{ij}$  — частота

перехода  $i-j$ ,  $\Delta_{12} = \Omega_{12} - \omega_{12}$ ,  $\omega_{12}$  — частота лазерного излучения резонансного переходу 1—2.

На рисунках 2(а) и 2(б) представлены результаты численного расчета выражения (3), а также результаты расчета для двухуровневой системы при  $\Gamma=1$ , из которого в случаях возбуждения СФЭ рис. 1 следует, что при значениях напряженностей электрических полей стоячих волн порядка 600 В/см происходит запираение информации сигналов СФЭ в кристалле  $LaF_3Pr^{3+}$  на переходах  ${}^3H_4-{}^3P_0$  с  $\lambda=477,7\text{ нм}$  и  ${}^3H_4\rightarrow{}^1D_2$  с  $\lambda=600\text{ нм}$ .



**Рисунок 2. Зависимость величины  $W$  от напряженности электрического поля а) нерезонансной стоячей волны**

**$SW_1 (E_1 \neq 0, E_2 = 0, \text{ — } \Gamma=1, \text{ - - } \Gamma=1.26)$  б)**

**нерезонансной стоячей волны  $SW_2 (E_2 \neq 0, E_1 = 0, \text{ — } \Gamma=1, \text{ - - } \Gamma=1.26)$  ( $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.7 * 10^{-7}$  нм, ( $C_{12}^D = C_{13}^D = 0.3$  КГц/(В/см)<sup>2</sup>)**

### Выводы

1. При воздействии нерезонансных стоячих волн между первым и вторым или после третьего возбуждающего лазерного импульса в трехуровневой системе происходит запираение сигналов СФЭ.

2. При наложении внешней нерезонансной стоячей электромагнитной волны происходит уменьшение интенсивности отклика СФЭ, т. е. наблюдается эффект «запираения».

### **Список литературы:**

1. Ахмедшина Е.Н., Нефедьев Л.А., Гарнаева Г.И. Эффект «запирания» сигналов стимулированного фотонного эха при наличии импульсов внешних нерезонансных стоячих волн // Сборник статей VIII международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика-2013», 2013. — С. 24.
2. Калачев А.А., Нефедьев Л.А., Зуйков В.А., Самарцев В.В. // Оптика и спектроскопия. — 1998. — Т. 84. — С. 811.
3. Нефедьев Л.А., Гарнаева Г.И., Низамова Е.И., Хакимзянова Э.И., Сахбиева А.Р., Ахмедшина Е.Н. Эффект запирания информации в трехуровневой системе при различной кодировки информации // International conference 3rd «Science and education», — 2013. — V. 1. — P. 29—38.
4. Nefediev L.A., Sakhbieva A.R., Nizamova E.I. Determination of Optimum Conditions for Reproducing Information in Optical Echo Processors // Journal of Russian Laser Research, — 2013. — V. 34. — № 4. — P 331—335.

## **ЦЕНТРИРОВАННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА: МАТРИЧНЫЙ И ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОДЫ РАСЧЕТА**

***Васильчикова Елена Николаевна***

*канд. физ.-мат. наук, доцент  
Московского государственного областного университета,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [envas2011@yandex.ru](mailto:envas2011@yandex.ru)*

***Козеева Мария Ивановна***

*студент Московского государственного областного университета,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [kozeeva-m@mail.ru](mailto:kozeeva-m@mail.ru)*

# CENTERED OPTICAL SYSTEM: MATRIX AND GRAPHIC METHODS

*Vasilchikova Elena*

*candidate of physical and mathematical sciences, associate professor  
of Moscow State Regional University,  
Russia, Moscow*

*Kozeeva Mariya*

*student of Moscow State Regional University,  
Russia, Moscow*

## АННОТАЦИЯ

Решение задачи о прохождении света через идеальную центрированную оптическую систему возможно различными способами. В данной работе приведены основные теоретические обоснования каждого метода, а также проведен сравнительный анализ различных методов расчета центрированных оптических систем в условиях паракиальных лучей на примере конкретной задачи.

## ABSTRACT

Solution of problem of light passing through perfectly centered optical system is possible in different ways. In this paper we present the main theoretical underpinning of each method, we also provide a comparative analysis of different methods of calculation of centered optical systems with rays being paraxial rays applied to specific tasks.

**Ключевые слова:** центрированная оптическая система; паракиальные лучи; гомоцентрический пучок лучей; геометрический метод расчета; матричный метод расчета.

**Keywords:** centered optical system; paraxial rays; homocentric pencil of rays; geometric calculation method; matrix method of calculation.

В рамках геометрической оптики, распространение света описывается с помощью светового луча — линии, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением распространения световой энергии. Поэтому решение задач геометрической оптики сводится к определению хода световых лучей в оптических системах.

Наряду с традиционным расчетом существует матричный метод, позволяющий установить целый ряд соотношений между входными и выходными параметрами системы с помощью одной матрицы

оптической системы. Выбор того или иного метода диктуется требованиями поставленной задачи.

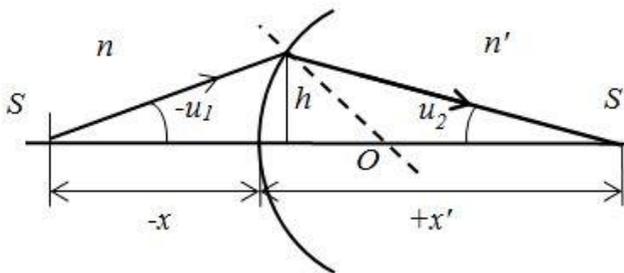
Правило знаков. Отрезки, лежащие на оптической оси, имеют знак плюс, если отсчет совпадает с ходом луча (начало отсчета совпадает с вершиной сферической поверхности), в противном случае отрезок записывается со знаком минус. Углы отсчитываются от оптической оси, если отсчет идет по часовой стрелке, то угол записывается со знаком плюс, против часовой стрелки — со знаком минус.

Гомоцентрический пучок парааксиальных лучей при прохождении через идеальную центрированную оптическую систему остается гомоцентрическим, поэтому для каждой точки предмета система формирует стигматическое (резкое) изображение.

### 1.1 Геометрический метод

Построение хода луча в оптической системе основано на правилах геометрической оптики, являющихся следствием закона преломления света на границе раздела сред в условиях парааксиальных лучей (рисунок 1). Уравнение сопряженных точек сферической поверхности:

$$-nu_1 + n'u_2 = h \frac{n'-n}{R} \quad (1)$$



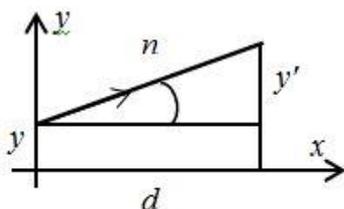
**Рисунок 1. Ход луча на границе раздела сред в условиях парааксиальных лучей для одной сферической поверхности**

Здесь  $-u_1$  и  $u_2$  — углы в пространстве предметов и изображений,  $n$  и  $n'$  — показатели преломления сред слева и справа от сферической поверхности. Величина  $\Phi = h \frac{n'-n}{R}$  называется оптической силой сферической поверхности.

## 1.2 Матричный метод

Преобразование луча в оптической системе удобно описывать с помощью специальных матриц, которые вводятся следующим образом (3,4). Матрица преломления  $R$  для одной сферической поверхности (рисунок 1) имеет вид:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \Phi & 1 \end{pmatrix}.$$



**Рисунок 2. Введение матрицы перемещения  $T$**

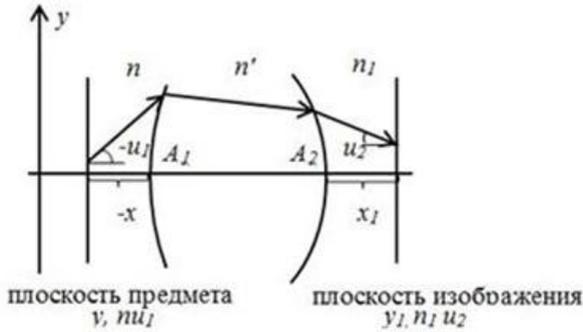
Матрица перемещения  $T$  между двумя опорными плоскостями, расположенными на расстоянии  $d$  друг от друга (рисунок 2) записывается в виде:

$$T = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{d}{n} \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Матрица преобразования  $R_0^{(1)}$  от предмета к изображению для одной сферической поверхности (рисунок 1) получится после перемножения трех матриц (верхний индекс 1 соответствует одной сферической поверхности):

$$R_0^{(1)} = T' \cdot R \cdot T = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{x'}{n'} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \Phi & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & +\frac{x}{n} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{11}^{(1)} & R_{12}^{(1)} \\ R_{21}^{(1)} & R_{22}^{(1)} \end{pmatrix}.$$

$$R_{11}^{(1)} = 1 - \frac{x'}{n'} \Phi; R_{12}^{(1)} = \frac{x}{n} - \frac{xx'}{nn'} \Phi - \frac{x'}{n'}; R_{21}^{(1)} = \Phi; R_{22}^{(1)} = 1 + \frac{x}{n}. \quad (2)$$



**Рисунок 3. Ход луча на границе раздела сред в условиях параксиальных лучей для линзы**

Важно отметить, что  $\det R_0^{(1)} = 0$ , в чем можно легко убедиться с помощью подстановки. Вводя увеличение  $M = \frac{y'}{y}$  и, учитывая условие  $R_{12}^{(1)} = 0$  (необходимое для получения четкого изображения точки), матрица  $R_0^{(1)}$  может быть записана в виде:  $R_0^{(1)} = \begin{pmatrix} M & 0 \\ \Phi & \frac{1}{M} \end{pmatrix}$ . Координаты главных плоскостей определяются условиями (3):

$$M = 1; \frac{1}{M} = 1 \quad (3)$$

Координаты фокальных плоскостей определяются условиями:

$$M = 0; \frac{1}{M} = 0. \quad (4)$$

Линза имеет в общем случае две сферических поверхности, поэтому матрица такой оптической системы (рисунок 3):  $R_0 = R_2^{(1)} \cdot T_0 \cdot R_1^{(1)}$ , где  $R_2^{(1)}$  и  $R_1^{(1)}$  — матрицы преломления на 2-й и 1-й поверхностях линзы,  $T_0$  — передаточная матрица (внутри линзы).  $\det R_0 = 1$ .

$$R_{11} = 1 - \Phi_1 \frac{d}{n'}; R_{12} = -\frac{d}{n'}; R_{21} = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1 \Phi_2 \frac{d}{n'}; R_{22} = 1 - \Phi_2 \frac{d}{n'} \quad (5)$$

Пусть параметры луча в плоскости предмета  $u, nu_1$ , тогда параметры луча в плоскости изображения определяются соотношением:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ n_1 u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{x_1}{n_1} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & \frac{x}{n} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y \\ nu_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ n_1 u_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Q_{11} & Q_{12} \\ Q_{21} & Q_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y \\ nu_1 \end{pmatrix}.$$

Компоненты матрицы преобразования от предмета к изображению:

$$Q_{11} = R_{11} - R_{21} \frac{x_1}{n_1}, Q_{12} = \frac{x}{n} \left( R_{11} - R_{21} \frac{x_1}{n_1} \right) + R_{12} - \frac{x_1}{n_1} R_{22},$$

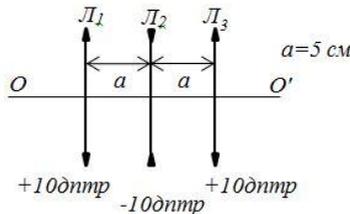
$$Q_{21} = R_{21}, Q_{22} = \frac{x}{n} R_{21} + R_{22}.$$

Отметим, что  $\det Q = 1$ . Из условия  $Q_{12} = 0$  следует известная формула линзы  $\frac{n_1}{a_1} + \frac{n}{a} = \Phi$ .

Вводим аналогично случаю одной поверхности увеличение  $M = \frac{y'}{y}$ . Матрица преобразования  $Q$  принимает вид:  $Q = \begin{pmatrix} M & 0 \\ Q_{21} & \frac{1}{M} \end{pmatrix}$ , где  $Q_{21} = R_{21} = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_1 \Phi_2 \frac{d}{n'}$  — оптическая сила толстой линзы. Отсюда аналогично случаю одной поверхности определяются координаты кардинальных элементов (формулы (3), (4)).

1. Пример расчета центрированной оптической системы

Рассмотрим следующую задачу. На рисунке 4 представлена центрированная система, состоящая из трех тонких линз, находящихся в воздухе. Определить положение точки схождения параллельного пучка, падающего слева, после прохождения через систему.



**Рисунок 4. Центрированная система, состоящая из трех тонких линз, находящихся в воздухе**

Решение выполним двумя способами: матричным и геометрическим.

Матричный расчет.

$R_3 = R_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \Phi_3 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 10 & 1 \end{pmatrix}$  — матрицы преломления 3-й и 1-й линз (собирающих);

$T_2 = T_1 = \begin{pmatrix} 1 & -a \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$  — матрица перемещения промежутков между линзами;

$R_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \Phi_2 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -10 & 1 \end{pmatrix}$  — матрица преломления 2-й линзы (рассеивающей).

Матрица оптической системы определяется как произведение матриц

$$R_0 = R_3 \cdot T_2 \cdot R_2 \cdot T_1 \cdot R_1 = \begin{pmatrix} 0,25 & -0,125 \\ 7,5 & 0,25 \end{pmatrix}.$$

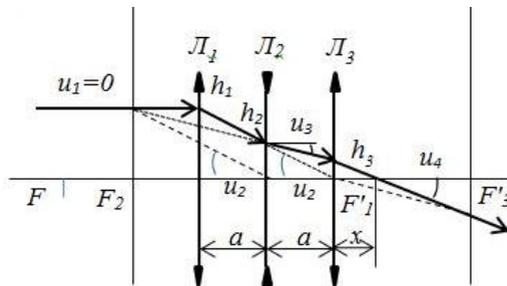
Искомое расстояние от линзы до фокуса определяется условием  $M=0$  (4):

$$Q_{11} = 0 \Rightarrow R_{11} - R_{21} \frac{x_{F_1}}{n_1} = 0; \quad x_{F_1} = \frac{R_{11}}{R_{21}} = \frac{0,25}{7,5} = \frac{1}{30} \text{ м.}$$

Расстояние отсчитывается от линзы  $L_3$  до фокуса  $F_1$ .

Геометрический способ.

Луч падает слева параллельно оптической оси (рисунок 5).



**Рисунок 5. Построение хода луча через систему трех линз**

Дано:

$$\Phi_1 = \Phi_3 = 10 \text{ дптр};$$

$$\Phi_2 = -10 \text{ дптр}.$$

Определить: расстояние  $x$ .

Запишем уравнения сопряженных точек для каждой линзы системы и сложим их:

$$\begin{aligned} 0 + u_2 &= h_1 \Phi_1 \\ -u_2 + u_3 &= h_2 \Phi_2 \\ -u_3 + u_4 &= h_3 \Phi_3 \\ u_4 &= h_1 \Phi_1 + h_2 \Phi_2 + h_3 \Phi_3 \end{aligned} \quad (6)$$

Используя условия параксиальных лучей, получим из чертежа соотношения

$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2}$ ;  $\frac{h_3}{h_1} = \frac{1}{4}$ ;  $u_4 = \frac{h_3}{x}$ , которые после подстановки в (6) позволят найти расстояние  $x$ :

$$x = \frac{h_3}{h_1 \Phi_1 + h_2 \Phi_2 + h_3 \Phi_3} = \frac{h_3/h_1}{\Phi_1 + \frac{h_2}{h_1} \Phi_2 + \frac{h_3}{h_1} \Phi_3} = \frac{1}{30} \text{ м}.$$

Сравнение двух методов решения позволяет сделать следующие выводы:

Матричный метод делает очень удобным использование вычислительной техники для расчета оптических систем, особенно при большом количестве линз в системе.

Графические и аналитические методы расчета эффективны для анализа общих закономерностей распространения света через оптическую систему.

Различные методы дают одинаковые результаты, так как в их основе лежат фундаментальные законы геометрической оптики.

### Список литературы:

1. Джерард А. Введение в матричную оптику/ А. Джерард, Дж.М. Берч. М.: Мир, 1978. — 342 с.
2. Ландсберг Г.С. Оптика/ Г.С. Ландсберг. М.: Наука, 1976. — 926 с.
3. Матвеев А.Н. Оптика/ А.Н. Матвеев. М.: Высш. шк., 1985. — 351 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика/ Д.В. Сивухин. М.: Наука, 1985. — 735 с.

## 2.3. ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

### РАВНОВЕСНЫЕ СОСТОЯНИЯ КВАДРАТНЫХ МАССИВОВ ДИПОЛЕЙ С УЧЕТОМ ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

*Шутый Анатолий Михайлович*

*д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.  
Ульяновского государственного университета,  
РФ, г. Ульяновск  
E-mail: [shuty@mail.ru](mailto:shuty@mail.ru)*

*Семенцов Дмитрий Игоревич*

*д-р физ.-мат. наук, профессор  
Ульяновского государственного университета,  
РФ, г. Ульяновск  
E-mail: [sementsovdi@mail.ru](mailto:sementsovdi@mail.ru)*

### EQUILIBRIUM CONDITIONS OF SQUARE ARRAYS OF DIPOLES WITH ALLOWANCE FOR EXCHANGE INTERACTION

*Anatoliy Shutyi*

*doctor of Physical and Mathematical Sciences, leading research scientist  
of Ulyanovsk State University,  
Russia, Ulyanovsk*

*Dmitriy Sementsov*

*doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor  
of Ulyanovsk State University,  
Russia, Ulyanovsk*

*Работа выполнена при поддержке министерства образования  
и науки РФ.*

## АННОТАЦИЯ

Проведен численный анализ дипольных решеток, представляющие собой квадратные массивы магнитных диполей. Показано, что при наличии обменного взаимодействия между магнитными моментами основными равновесными состояниями являются конфигурации с ориентацией диполей вдоль диагонали системы, вдоль ее стороны, а также конфигурации с вихревыми структурами, которые могут отличаться по расположению центра вихря. Рассмотрены условия переходов между равновесными конфигурациями с помощью нормального поля, действующего на часть входящих в систему диполей.

## ABSTRACT

The numerical analysis of dipole lattices representing square arrays of magnetic dipoles has been conducted. It is shown that in case of exchange interaction between magnetic moments the main equilibrium conditions are configurations with orientation of dipoles along a diagonal of a system, along its side and also configurations with vortex structures, which can differ by a disposition of the centre of vortex. Transitions conditions between equilibrium configurations with the help of normal field affecting a part of dipoles included into the system have been considered.

**Ключевые слова:** решетки магнитных диполей; обменное взаимодействие; равновесные конфигурации.

**Keywords:** lattices of magnetic dipoles; exchange interaction; equilibrium configurations.

Интерес к самоорганизующимся системам, в том числе к ансамблям наночастиц, приобрел особое значение в связи с достижениями в области информационных технологий и наноструктур. Ансамбли однодоменных частиц являются также удобными объектами для изучения фазовых переходов и других коллективных эффектов. Среди них особый интерес представляют двумерные сверхструктуры в виде квадратных решеток наночастиц [1]. В настоящей работе исследуются решетки, являющиеся квадратными массивами магнитных диполей. При этом рассмотрены основные равновесные конфигурации, которые устанавливаются в данных системах. Выявлены условия переходов между равновесными состояниями решеток под воздействием внешних полей.

При рассмотрении системы диполей полагаем, что они связаны диполь-дипольным и обменным взаимодействиями, и каждый из них может поворачиваться вокруг центра симметрии. Положение диполей

в системе принимается неизменным, тела — однородными и шарообразными. Динамические уравнения для системы диполей имеют вид [2—4]:

$$J_i \frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{dt} + \alpha_i \boldsymbol{\omega}_i = \mathbf{p}_i \times \mathbf{H}_i, \quad (1)$$

$$\frac{d\mathbf{p}_i}{dt} = \boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{p}_i,$$

где:  $\mathbf{p}_i$  и  $\boldsymbol{\omega}_i = d\boldsymbol{\varphi}_i/dt$  — дипольный магнитный момент и угловая скорость  $i$ -го диполя ( $\boldsymbol{\varphi}_{ij}$  — угол поворота диполя вокруг оси  $j = x, y, z$ ),

$J_i$  — момент инерции,

$\alpha_i$  — параметр диссипации; поле, создаваемое в месте расположения  $i$ -го диполя остальными диполями и внешним магнитным полем  $\mathbf{h}$ :

$$\mathbf{H}_i = \mathbf{h} + \sum_{n \neq i} \left[ \frac{3\mathbf{e}_{in}(\mathbf{p}_n \mathbf{e}_{in}) - \mathbf{p}_n}{a^3 l_{in}^3} + \Lambda \mathbf{p}_n \exp(-\kappa l_{in}) \right], \quad (2)$$

где:  $\mathbf{e}_{in} = \mathbf{r}_{in}/r_{in}$  — единичные вектора вдоль направления,

$\mathbf{r}_{in}$  — вектор между положениями  $i$ -го и  $n$ -го диполей,

$l_{in} = r_{in}/a$  — расстояние, нормированное на характерный параметр конфигурации системы  $a$  (в рассматриваемых системах  $a$  — расстояние между соседними диполями);

$\Lambda$  и  $\kappa$  — константы обменного взаимодействия. Магнитные диполи принимаются идентичными:  $|\mathbf{p}_i| = p$ ,  $J_i = J$ ,

$\alpha_i = \alpha$ . Далее перейдем к безразмерным параметрам [2]:  $\rho_{ij} = p_{ij}/p$ ,  $\beta = \alpha/(vJ)$ ,  $\boldsymbol{\omega}_i = d\boldsymbol{\varphi}_i/d\tau$ ,

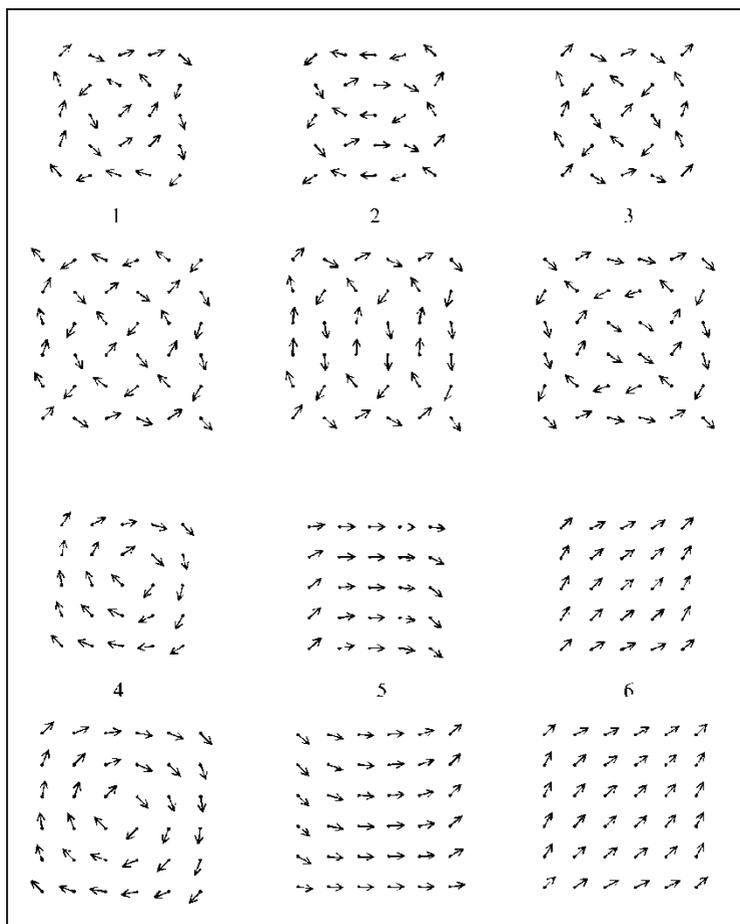
где дифференцирование проводится по безразмерному времени  $\tau = \nu t$  ( $\nu = \sqrt{p^2/Ja^3}$ ). Компоненты внешнего поле в этом случае преобразуются к виду  $f_j = h_j p / (\nu^2 J)$ , а константа обменного взаимодействия  $\lambda = a^3 \Lambda$ . Динамические уравнения при этом приобретают вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{d\tau} &= -\beta\boldsymbol{\omega}_i + \boldsymbol{p}_i \times \left( \mathbf{f}(\tau) + \sum_{n \neq i} \left[ \frac{3\mathbf{e}_{in}(\boldsymbol{p}_n \mathbf{e}_{in}) - \boldsymbol{p}_n}{l_{in}^3} + \lambda \boldsymbol{p}_n \exp(-\kappa l_{in}) \right] \right), \\ \frac{d\boldsymbol{p}_i}{d\tau} &= \boldsymbol{\omega}_i \times \boldsymbol{p}_i. \end{aligned} \quad (3)$$

Исследование массивов диполей показало, что в случае слабого ( $\lambda \leq 0.5$ ) обменного взаимодействия между входящими в систему телами устанавливаются равновесные конфигурации с «седло-образной» ориентацией дипольных моментов, а также конфигурации, в центральной области которой дипольные моменты составляют пары рядов со взаимно противоположным направлением. Данные равновесные состояния аналогичные равновесным состояниям в дипольных системах без обменного взаимодействия. В случае большого обменного взаимодействия ( $\lambda \geq 2 \div 6$  — в зависимости от систем) равновесной является только конфигурация, в которой дипольные моменты выстраиваются преимущественно вдоль диагонали массива. При промежуточной величине обменного взаимодействия в системах могут устанавливаться как диагональные равновесные конфигурации, так и конфигурации с ориентацией магнитных моментов

преимущественно вдоль стороны массива, а также конфигурации с вихревой их ориентацией. Вихревые равновесные состояния могут отличаться по расположению в массиве центра вихревой структуры и, соответственно, по величине суммарного магнитного момента системы. При расположении центра вихря в центре массива с четным числом диполей суммарный магнитный момент системы равен нулю; при смещении вихря к краю массива его дипольный момент увеличивается. Наибольший магнитный момент для указанных равновесных состояний имеет место в случае диагональной конфигурации.

Типичные равновесные конфигурации массивов  $5 \times 5$  и  $6 \times 6$ , реализующиеся при  $\lambda = 0.3$

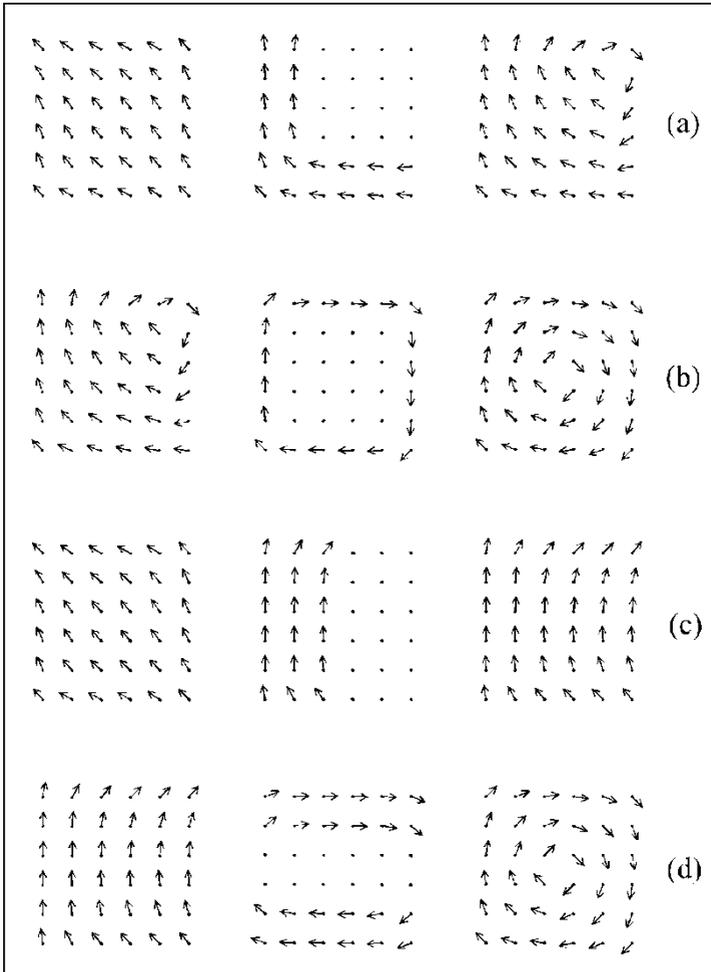


**Рисунок 1.** Равновесные конфигурации массивов  $5 \times 5$ ,  $6 \times 6$ ;  $\lambda = 0.3$  (1—3) и  $\lambda = 1$  (4—6)

(конфигурации 1—3) и  $\lambda = 1$  (конфигурации 4—6), приведены на рис.2. Расчеты, проведенные для других массивов, вплоть до систем

$14 \times 14$ , показывают, что их равновесные конфигурации подобны приведенным.

Рассмотрение энергии связи показало, что наиболее устойчивой является конфигурация с диагональной ориентацией диполей, а наименее устойчивой — вихревая конфигурация.



**Рисунок 2. Преобразования между равновесными конфигурациями с помощью нормального к системе подмагничивающего поля, действующего на часть диполей**

С помощью действующего на всю систему плоскостного магнитного поля реализуются переходы от вихревой конфигурации к диагональной или к конфигурации с ориентацией дипольных моментов вдоль стороны системы; а также от последней к диагональной конфигурации. В случае диагональной конфигурации однородным плоскостным полем достигается только перемагничивание системы — изменение ориентации магнитного момента массива — с сохранением диагональной структуры. Переход от диагональной конфигурации к вихревой или к конфигурации с ориентацией диполей вдоль стороны массива (и от последней к вихревой конфигурации) может быть реализован с помощью магнитного поля, направленного перпендикулярно к плоскости системы и действующего только на часть входящих в массив диполей.

На рис. 2 представлены преобразования между равновесными конфигурациями с помощью нормального к системе поля. Слева приведена исходная конфигурация. В центре — конфигурация перед выключением поля, действующего на диполи, представленные в виде точек. Справа — конечные конфигурации преобразования. Из рисунка видно, что, действуя на 16 диполей системы  $6 \times 6$ , удастся перевести диагональную конфигурацию в вихревую со смещенным центром (а), которая затем может быть переведена в вихревую конфигурацию (б). Действие нормального поля на половину диагональной конфигурации переводит ее в конфигурацию с магнитным моментом, ориентированным по стороне массива (с). Последняя может быть преобразована в вихревую структуру (д). Смещение центра вихря осуществляется с помощью однородного плоскостного поля; при этом направление смещения перпендикулярно направлению поля.

### **Список литературы:**

1. Галкин А.Ю., Иванов Б.А. // Письма в ЖЭТФ — 2006 — Т. 83 — С. 450.
2. Лисовский Ф.В., Полякова О.П. // Письма в ЖЭТФ — 2001 — Т. 73 — С. 546.
3. Шутый А.М. // ЖЭТФ — 2010 — Т. 137 — С. 277.
4. Шутый А.М. // Письма в ЖЭТФ — 2013 — Т. 97 — С. 601.

# ИНДУЦИРОВАННЫЙ МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ СИСТЕМЫ МАГНИТНЫХ ДИПОЛЕЙ

*Шутый Анатолий Михайлович*

*д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотр.  
Ульяновского государственного университета,  
РФ, г. Ульяновск  
E-mail: [shuty@mail.ru](mailto:shuty@mail.ru)*

## INDUCED MAGNETIC MOMENT OF A MAGNETIC DIPOLE SYSTEM

*Shutyi Anatoliy*

*dr. math. and phys., senior researcher, Ulyanovsk State University,  
Russia, Ulyanovsk*

*Работа выполнена при поддержке министерства образования  
и науки РФ.*

### АННОТАЦИЯ

На основе численного анализа исследованы системы трех и четырех шарообразных тел, обладающих дипольным магнитным моментом. Показано, что при исходном состоянии с нулевым суммарным магнитным моментов под воздействием переменного магнитного поля устанавливаются различные режимы индуцированного магнитного момента, в том числе квазистатические состояния. Выявлены существенные отличия данных режимов, отвечающих разным системам. Проведены исследования величины и направления магнитного момента системы, а также состояний динамической бистабильности.

### ABSTRACT

The systems of three and four spherical bodies with the dipole magnetic moment have been investigated using a numerical analysis. It was shown that in the initial state with the zero total magnetic moment under the influence the alternating magnetic field, various regimes of the induced magnetic moment including quasistatic states are established. Revealed are the significant differences between these regimes related to different

systems. The magnitude and direction of the magnetic moment of the system, as well the states of dynamic bistability, have been investigated.

**Ключевые слова:** индуцированный магнитный момент; динамическая бистабильность; система диполей; управление намагниченностью.

**Keywords:** induced magnetic moment; dynamic bistability; system of dipoles; control of magnetization.

Системы диполей представляют важный объект исследований благодаря созданию новых сред при внедрении их в твердотельные пористые матрицы [4, 6] и ввиду формирования на их основе магнитных жидкостей [2]. В свою очередь показано, что система частиц в большинстве случаев испытывает процесс агрегации с формированием за счет диполь-дипольного взаимодействия различных по объему кластеров [1, 7]. В настоящей работе исследуются системы с нулевым суммарным магнитным моментом, состоящие из трех и четырех магнитных диполей. Показано, что воздействие переменного поля приводит к существенно отличающимся для различных систем стационарным режимам индуцированного магнитного моменты, включая квазистатические состояния. Выявлены возможности управления индуцированным магнитным моментом.

Рассматривая систему диполей, полагаем, что каждый из них связан с другими диполь-дипольным взаимодействием и способен вращаться вокруг своего, остающегося неподвижным, центра инерции. Время изменения конфигурации системы в целом принимается достаточно большим, чтобы соответствующей динамикой можно было пренебречь. Тела предполагаются однородными и шарообразными. Принимая диполи идентичными — с равными по модулю дипольными моментами  $|\mathbf{p}_i| = p$  и моментами инерции  $J_i = J$ , — запишем уравнения для связанных диполей в присутствии внешнего поля  $\mathbf{h}(t)$ :

$$\frac{d\boldsymbol{\omega}_i}{dt} + \alpha\boldsymbol{\omega}_i = \mathbf{p}_i \times \left( \mathbf{h}(t) + \sum_{n \neq i} \left[ 3\mathbf{r}_{in}(\mathbf{p}_n \mathbf{r}_{in}) / r_{in}^5 - \mathbf{p}_n / r_{in}^3 \right] \right), \quad (1)$$

$$\frac{d\mathbf{p}_i}{dt} = \boldsymbol{\omega}_i \times \mathbf{p}_i,$$

где:  $\boldsymbol{\omega}_i = d\boldsymbol{\varphi}_i/dt$  — угловая скорость  $i$ -го диполя ( $\varphi_{ij}$  — угол поворота диполя вокруг оси  $j = x, y, z$ ),

$\alpha$  — параметр диссипации;

$\mathbf{r}_{in}$  — вектор между  $i$ -го и  $n$ -го диполей. Далее перейдем

к безразмерным параметрам [6]:  $\tau = \nu t$ , где  $\nu = \sqrt{p^2/Ja^3}$ ,  $a$  — характерный параметр конфигурации системы; при этом  $\boldsymbol{\omega}_i = d\boldsymbol{\varphi}_i/d\tau$ ;  $\rho_{ij} = p_{ij}/p$  — нормированные компоненты магнитных моментов; остальные параметры:

$\beta = \alpha/(\nu J)$ ,  $f_j(\tau) = h_j(\tau)p/(\nu^2 J)$ . В случае кольцевых

структур при числе диполей  $N < 8$ , устанавливается только одно равновесное состояние — с нулевым суммарным магнитным моментом  $\mathbf{P} = \sum \boldsymbol{\rho}_i$  [5]. Проведем анализ влияния переменного поля на системы из 3-х и 4-х диполей.

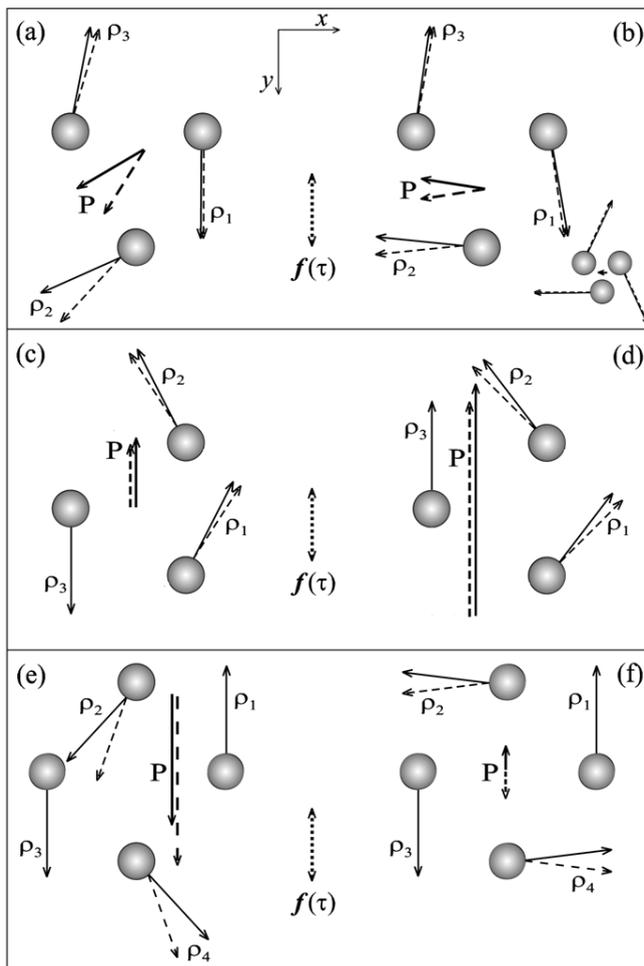
При возбуждении системы диполей линейно поляризованным магнитным полем  $\mathbf{h}_0 \sin(\tilde{\omega}t)$  реализуются различные динамические состояния. На рис. 1 приведена ориентация магнитных моментов систем диполей, возбуждаемых переменным полем с параметрами:  $f_0 = 5$ ,  $\Omega = 4, 7, 20$  (а, б),  $f_0 = 5$ ,  $\Omega = 7$  (с, д),  $f_0 = 10$ ,  $\Omega = 5, 9$  (е, ф), где  $\Omega = \tilde{\omega}/\nu$ . Видно, что в случае трех диполей направление индуцированного магнитного момента системы определяется ориентацией системы относительно поляризации переменного поля. При ориентационном угле  $\psi = 0$  (отсчитываемом от оси  $y$ ) на малых частотах постоянная составляющая магнитного момента располагается под углом к поляризации поля (а), который увеличивается с ростом частоты, и начиная с некоторого значения  $\Omega$  она оказывается перпендикулярной полю, ориентируясь вдоль оси  $x$ , а малые колебания испытывает только  $y$ -составляющая магнитного момента (б). Амплитуда колебаний на рисунке задается непрерывным и пунктирным векторами. При дальнейшем росте частоты уменьшаются как модуль вектора  $\mathbf{P}$ , так и угол его отклонения, и на достаточно больших частотах индуцированный магнитный момент можно считать постоянным (вставка на рис. 3б). При повороте системы на угол  $\psi = \pi/2$  (с) магнитный момент, испытывая

по модулю низкоамплитудные колебания, ориентируется параллельно поля, т. е. вдоль  $y$ . В этом случае могут быть реализованы режимы с противоположной ориентацией «третьего» диполя, в результате возникает динамическая бистабильность с индуцированными магнитными моментами системы, постоянная составляющая которых отличается почти на две единицы ( $c, d$ ). Следует также обратить внимание на то, что имеет место бистабильность, связанная с двумя противоположными направлениями индуцированного магнитного момента; в частности,  $P_x$  на рис. 1a,b или  $P_y$  на рис. 1c,d могут быть как положительными, так и отрицательными.

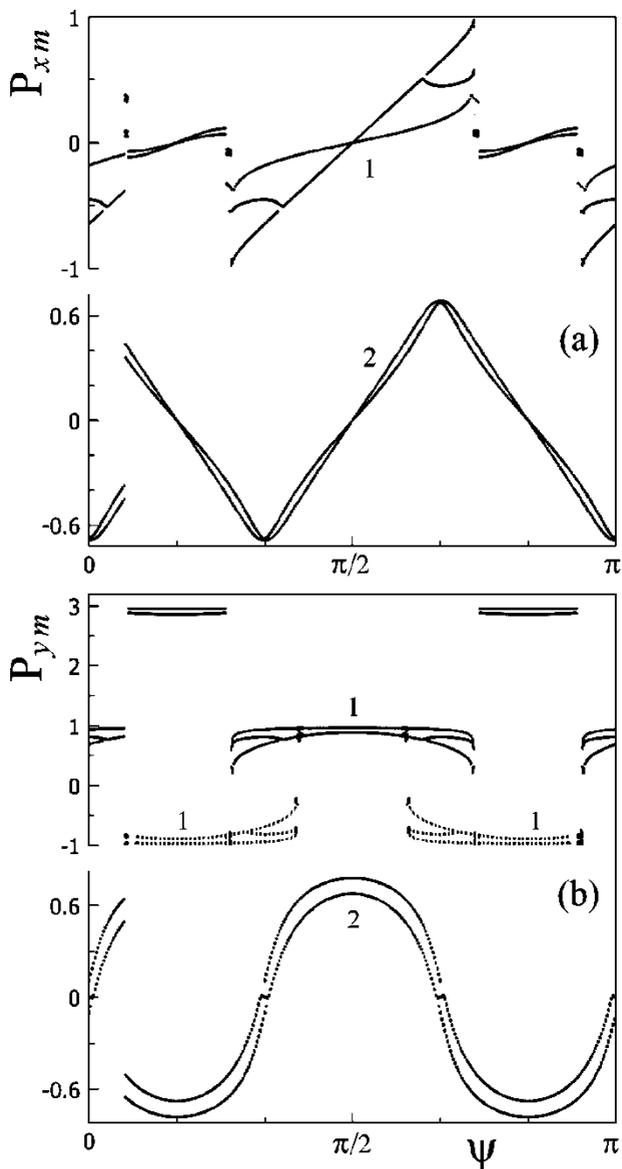
Рис. 1e и рис. 1f отвечают двум типам колебательных режимов индуцированного магнитного момента системы из четырех диполей с геометрией квадрата, устанавливаемых при различной частоте переменного поля. В обоих случаях магнитный момент системы ориентирован вдоль оси  $y$  (параллельно полю), но, как было сказано, при малых частотах ( $e$ ) среднее за период значение  $\bar{P}$  отлично от нуля и значительно превышает амплитуду колебаний, тогда как в режиме, соответствующем большим частотам ( $f$ ), устанавливаются колебания относительно нулевого значения ( $\bar{P} = 0$ ). Первый из указанных режимов составляет динамическую бистабильность: для  $\mathbf{P}$ , также как и в случае трехдипольной системы, возможно два противоположных направления.

Индуцированный магнитный момент четырехдипольных квадратных систем всегда направлен параллельно поляризации переменного поля. В случае трехдипольных систем ориентация магнитного момента определяется частотой и амплитудой поля, а также ориентацией системы по отношению к поляризации поля. На рис. 2 представлены зависимости от ориентационного угла  $x$ - и  $y$ -компонент экстремумов индуцированного магнитного момента системы трех диполей при параметрах поля:  $f_0 = 5$ ,  $\Omega = 4, 7$ ; поляризация поля, как и в остальных случаях, направлена вдоль оси  $y$ ; в качестве исходного состояния принималось равновесное состояние систем при данных параметрах. Видно, что на относительно малых частотах имеют место режимы с большим –  $2 < P < 3$  – и малым –  $P < 1$  – магнитными моментами (зависимость 1). Режимы с большим магнитным моментом реализуются в области углов  $\psi = \pi/2 \pm k\pi/3$  (чем меньше частота поля, тем больше отвечающий этим режимам интервал значений ориентационного угла). Причем точно

при указанных углах магнитный момент ориентирован параллельно полю ( $\mathbf{P}_x = 0$ ), а при отклонении от них появляется малая по величине  $x$ -компонента как в переменной, так и в постоянной составляющих магнитного момента.



**Рисунок 1. Ориентация магнитных моментов систем диполей, возбуждаемых переменным магнитным полем**



*Рисунок 2. Зависимости от ориентационного угла  $x$ - и  $y$ -компонент экстремумов индуцированного магнитного момента системы 3-х диполей*

Следует заметить, что при  $\psi = \pi/2$  данный режим также имеет место (устанавливается  $P_y \approx -3$ ), но при выбранных параметрах поля из равновесного состояния система с большей вероятностью переходит в другой составляющий бистабильность режим (в режим с малым магнитным моментом), а для получения этого режима требуется дополнительное начальное возмущение (или, например, флуктуации параметров поля). В частности, при численном моделировании режим с  $P_y \approx -3$  для  $\psi = \pi/2$  из равновесного состояния устанавливается при изменении на  $\pi$  начальной фазы переменного поля. В режиме с  $P < 1$  при  $\psi = \pi/2 \pm k\pi/3$  магнитный момент также ориентируется параллельно полю, но при отклонении угла  $\psi$  от указанных значений  $x$ -компонента магнитного момента имеет значительно большую величину, чем в первом рассмотренном режиме.

Во всем диапазоне ориентационного угла имеет место динамическая бистабильность, и при изменении на  $\pi$  начальной фазы переменного поля устанавливаются режимы, соответствующие приведенным, но с изменением знака компонент магнитного момента и смещенные (вдоль оси ординат) на угол  $\pi/3$ . Для примера на рис. 2b приведены пунктиром части указанных диаграмм (зависимость 1), полученные для данных параметрах системы при изменении начальной фазы поля. Следует заметить, что в одних интервалах ориентационного угла динамическую бистабильность составляют режимы с сильно отличающимися значениями индуцированного магнитного момента, а в других интервалах — режимы с приблизительно одинаковыми по величине, но противоположно направленными магнитными моментами. В случае меньших частот в трехдипольных системах имеет место другой тип режимов (зависимость 2), характеризующийся отсутствием больших магнитных моментов (всегда  $P < 1$ ), но при этом реализацией режимов с перпендикулярной поляризации поля ориентацией постоянной составляющей магнитного момента. Последние устанавливаются при  $\psi = \pm k\pi/3$ ; а при  $\psi = \pi/2 \pm k\pi/3$ , как и в ранее рассмотренных случаях, индуцированный магнитный момент параллелен полю.

Проведенный анализ показал, что для систем четырех диполей с геометрией квадрата характерны два типа динамических режимов:

при одних режимах индуцированный магнитный момент системы имеет постоянную и сонаправленную ей переменную составляющие, в режимах второго типа (на больших частотах) устанавливаются колебания магнитного момента системы относительно нулевого значения, амплитуда которых уменьшается с ростом частоты поля. При этом независимо от частоты и амплитуды переменного поля, а также от ориентации систем в плоскости, суммарный магнитный момент оказывается параллельным поляризации приложенного поля. В случае трехдипольных систем в зависимости от параметров поля индуцированный магнитный момент может устанавливаться под различными углами к поляризации поля. При этом реализуются режимы с наименьшими по амплитуде колебаниями магнитного момента — магнитный момент остается квазистатическим даже при значительном изменении его величины за счет варьирования параметров поля.

Таким образом, за счет изменения параметров внешнего поля для сред с исходной нулевой намагниченностью, в которых рассмотренные системы выступают в роли кластеров, может достигаться эффективное управление индуцированной намагниченностью, возникающей при воздействии переменного поля.

### **Список литературы:**

1. Гладких Д.В., Диканский Ю.И. // ЖТФ — 2006 — Т. 76 — С. 13.
2. Головань Л.А., Тимошенко В.Ю., Кашкаров П.К.// УФН — 2007 — Т. 177 — С. 619.
3. Лисовский Ф.В., Полякова О.П. // Письма в ЖЭТФ — 2001 — Т. 73 — С. 546.
4. Шутый А.М. // ЖЭТФ — 2009 — Т. 135 — С. 1009.
5. Шутый А.М. // ЖЭТФ — 2010 — Т. 137 — С. 277.
6. Eliseev A.A., Vyacheslavov A.S., Lukashin A.V. et al. // International Journal of Nanoscience — 2006 — V. 5 — P. 459.
7. Kozhevnikov V.M., Chuenkova I.J., Danilov M.I. et al. // Magnetohydrodynamics — 2005 — Т. 41 — С. 53.

## **СЕКЦИЯ 3.**

### **БИОЛОГИЯ**

#### **3.1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

##### **ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ**

*Лыгин Сергей Александрович*

*канд. хим. наук, доцент Бирского филиала  
Башкирского государственного университета,  
РФ, г. Бирск  
E-mail: [lygins@mail.ru](mailto:lygins@mail.ru)*

*Денисова Ольга Сергеевна*

*студент факультета биологии и химии Бирского филиала  
Башкирского государственного университета,  
РФ, г. Бирск  
E-mail: [lygins@mail.ru](mailto:lygins@mail.ru)*

# EFFECT OF FERTILIZERS ON THE YIELD OF POTATOES

*Sergei Lygin*

*candidate of chemistry, associate Professor Birsk branch  
of the Bashkir State University,  
Russia, Birsk*

*Olga Denisova*

*student of biology and chemistry Birsk branch  
of the Bashkir State University,  
Russia, Birsk*

## АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается вопрос влияния удобрений на урожайность картофеля. Цель эксперимента — определить оптимальные концентрации вносимых удобрений для картофеля, на примере аммиачной селитры. В результате эксперимента было установлено, что:

- 5 % раствор нитрата аммония угнетения на рост не оказывает, в корне не более 1-го клубня, но его размер отличался в 2—3 раза, по сравнению с картофелем, политым простой водопроводной водой;
- повышение концентрации нитратов оказывает негативное влияние на рост и развитие растений.

## ABSTRACT

The article discusses the effect of fertilizers on the productivity of potatoes. The purpose of the experiment is to determine the optimal concentration of fertilizers for potatoes for example ammonium nitrate.

The result of the experiment was established that:

- 5 % solution of ammonium nitrate has not influence inhibition in the growth. There is not more than 1 tuber in the root of plant, but its size differed by 2—3 times compared with potatoes, watered plain tap water;
- increase in the concentration of nitrate has a negative impact on plant growth and development.

**Ключевые слова:** картофель; нитраты; урожай; удобрения; азот; крахмал.

**Keywords:** potatoes; nitrates; crop; fertilizers; nitrogen; starch.

Картофель — многолетнее клубненозное травянистое растение семейства Пасленовые [2]. Впервые он появился в России во времена правления Петра I, но стал популярной огородной культурой только в XIX веке. В народе картофель часто называют вторым хлебом, т. к. это один из основных продуктов питания для человека. И действительно, картофель занимает одно из лидирующих мест на нашем столе. Его употребляют в печеном, жареном вареном виде, как гарнир ко многим вторым блюдам, а также для изготовления чипсов и крахмала.

Картофель также содержит целый набор полезных для человека элементов, таких как кальций, железо, магний, фосфор, калий, а также витамины В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>9</sub>, витамин С и витамин К. Особое значение имеет относительно высокое содержание витамина С, которое выше, чем в яблоках. Благодаря комплексу положительных пищевых свойств, картофель широко используется для диетических целей.

В среднем картофель содержит (в %): воды 75; крахмала 18,2; азотистых веществ (сырой белок) 2; сахаров 1,5; клетчатки 1; жиров 0,1; титруемых кислот 0,2; веществ фенольной природы 0,1; пектиновых веществ 0,6; прочих органических соединений (нуклеиновых кислот, гликоалкалоидов, гемицеллюлоз и др.) 1,6; минеральных веществ 1,1. Ориентировочно различают сорта картофеля с высоким содержанием сухих веществ (более 25 %), средним (22—25 %) и низким (менее 22 %).

Крахмал составляет 70—80 % всех сухих веществ клубня. Находится крахмал в клетках в виде слоистых крахмальных зёрен размером от 1 до 100 мкм, но чаще 20—40 мкм. Содержание крахмала зависит от скороспелости сортов, которое выше у позднеспелых.

В процессе хранения количество крахмала в клубнях уменьшается в результате гидролитического распада его до сахаров. В большей мере снижается содержание крахмала при низкой температуре (1—2 °С). Сахара в картофеле представлены глюкозой (около 65 % к общему сахару), фруктозой (5 %) и сахарозой (30 %), в незначительном количестве встречается мальтоза, обычно при прорастании картофеля. Наряду со свободными сахарами в картофеле имеются фосфорные эфиры сахаров (глюкозо-1-фосфат, фруктозо-6-фосфат и др.) [3].

Размножение картофеля ведется вегетативным способом — целыми или резаными клубнями, которые закапывают в землю на глубину 10—20 см. В период роста картофеля, его неоднократно, окучивают, поливают, рыхлят, а также вносят удобрения [3].

Удобрения — это вещества, применяемые для улучшения питания растений, свойств почвы, повышения урожая. Их эффект обусловлен тем, что данные вещества предоставляют растениям один или несколько дефицитных химических компонентов, необходимых для их нормального роста и развития [4].

Лучшими удобрениями служат калийные соли, костяная мука, навоз, известь. Чаще всего, из-за отсутствия органических удобрений, для повышения урожайности вносят различные селитры: аммиачную, калийную, натриевую. Однако избыток азотных удобрений в почве может пагубно влиять на рост и развитие овощной культуры.

При умеренном избытке азота часто наблюдается ожог кончиков листьев. Если при появлении первых симптомов — ожога кончиков листьев — снизить поступление азота, то последствия его избытка клубню удастся преодолеть без каких-либо стойких повреждений культуры. Но если уже повреждены клубни, то ущерб, нанесенный растению, полностью возместить не удастся.

При большом избытке азота растение подвядает круглосуточно, и даже в прохладные облачные дни. Вслед за увяданием повреждаются клубни. Размер непоправимого ущерба зависит от того, в какой степени повреждена корневая система [1].

Эксперимент, целью которого являлось определение оптимальных концентраций вносимых удобрений для картофеля, на примере аммиачной селитры, проводился в 2013 году на территории города Бирска и Бирского района, площадь которого составляет 1717 км<sup>2</sup>. Район находится в низовье реки Белой и расположен в пределах Прибельской увалисто-волнистой равнины, в зоне Северной лесостепи, в самом теплом, незначительно засушливом агроклиматическом регионе Башкирии.

Эксперимент проводился на площади 0,015 га (1,5 сотки) в трех повторностях на каждую концентрацию растворов, с общей погрешностью методики измерений в интервале 3—5 %.

В эксперименте использовались растворы 5 % и 10 % концентрации. Клубни картофеля поливались 1 раз в неделю этими растворами и водопроводной водой.

Вариант 1 — поливался 5 % раствором нитрата аммония (А); вариант 2 — водопроводной водой (Б); вариант 3 — 10 % раствором нитрата аммония (С). Данные по проведенному эксперименту представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1. Результаты полива картофеля: (А) — 5 % раствор  $NH_4NO_3$ ; (Б) —  $H_2O$ ; (С) — 10 % раствор  $NH_4NO_3$**

Из данных эксперимента можно сделать следующие выводы:

- при 5 % концентрации нитрата аммония угнетения роста не происходило, однако в корне более 1-го клубня не наблюдалось, но его размер отличался в 2—3 раза;
- при повышении концентрации нитрата аммония до 10 % наблюдалось угнетение роста — плодов много, но очень мелкие;
- повышение концентрации нитратов оказывает негативное влияние на рост и развитие растений.

В ходе выполнения данной работы, была проанализирована научная и методическая литература по влиянию удобрений на рост и развитие растений. Был поставлен эксперимент и сделаны выводы.

### Список литературы:

1. Азотные удобрения — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://www.sunnygarden.ru/udobreniya/azotnye-udobreniya/> (дата обращения 09.03.2014).
2. Выращивание картофеля — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://nlogorod.ru/klubneplodi.php> (дата обращения 15.02.2014).
3. Картофель — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CA%E0%F0%F2%EE%F4%E5%EB%FC> (дата обращения 15.02.2014).
4. Удобрения — [Электронный ресурс] — Режим доступа -URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5\\_%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (дата обращения 27.10.2013).

## 3.2. ЗООЛОГИЯ

### **АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ У КРАСНОЙ ПОЛЁВКИ В ЗОНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЫРОЙ НЕФТЬЮ**

*Левых Алёна Юрьевна*

*канд. биол. наук, доцент ИГПИ им. П.П. Ершова,  
РФ, г. Ишим*

*Крысин Сергей Валерьевич*

*студент 5 курса, кафедра биологии и методики её преподавания  
ИГПИ им. П.П. Ершова,  
РФ, г. Ишим*

*Ильина Наталья Вячеславовна*

*студент 2 курса, кафедра биологии и методики её преподавания  
ИГПИ им. П.П. Ершова,  
РФ, г. Ишим  
E-mail: [aljurlev@mail.ru](mailto:aljurlev@mail.ru)*

**ANALYSIS INTO DISTRIBUTION  
OF MORPHOMETRIC  
AND MORPHOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS  
OF NORTHERN RED-BACKED VOLE  
FROM CRUDE OIL POLLUTED HABITAT**

***Levykh Alyona***

*cand. Biol.Sc., Associate Professor  
P. Ershov State Teachers Training Institute,  
Russia, Ishim*

***Krysin Sergey***

*undergraduate, Chair of Biology and its Teaching Techniques  
P. Ershov State Teachers Training Institute,  
Russia, Ishim*

***I'ina Natalia***

*second Year Student, Chair of Biology and its Teaching Techniques  
P. Ershov State Teachers Training Institute,  
Russia, Ishim*

**АННОТАЦИЯ**

На выборке красной полевки (*Clethrionomys rutilus* Pallas, 1779), отловленной в июле-августе 1989—1990 годов на территории Среднего Приобья, в окрестностях поселка Аган Нижневартковского района в зоне повышенного загрязнения окружающей среды сырой нефтью проанализировано соответствие эмпирических рядов распределения морфометрических и морфологических признаков закону нормального распределения.

**ABSTRACT**

The authors studied a sample of northern red-backed voles (*Clethrionomys rutilus* Pallas, 1779) trapped in July and August, 1989—1990 in the Middle Ob Region near Agan village, Nizhny Vartovsk District, Russia, in the area polluted by crude oil. The article provides a research into whether the empirical morphometric and morphophysiological characteristics fall within the normal distribution.

**Ключевые слова:** морфометрические признаки; морфологические признаки; популяция; красная полевка.

**Keywords:** morphometric characteristics; morphophysiological characteristics; population; northern red-backed vole.

При использовании мелких млекопитающих в биомониторинге в качестве индикаторов состояния экосистем рассматриваются показатели видового разнообразия сообществ, численность, половозрастная и морфотипическая структура популяций, а также размеры и пропорции тела, черепа и внутренних органов, т. е. морфофизиологические индикаторы [2, с. 8; 3, с. 9, 25—27; 8, с. 3—387]. В последнем случае приходится иметь дело со значительным количеством признаков, требующих корректной статистической обработки. Предварительным этапом биометрического анализа в больших по объёму выборках может быть оценка нормальности распределения признаков, позволяющая избежать дальнейших не нужных операций и ошибочных выводов [1, с. 146—152; 6, с. 33—140; 7, с. 8—13].

Цель данной работы заключалась в анализе нормальности распределения морфометрических и морфофизиологических признаков индикаторного вида мелких млекопитающих — красной полёвки (*Clethrionomys rutilus* Pallas, 1779) в районе высокого уровня загрязнения окружающей среды нефтепродуктами.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалом для работы послужили результаты морфофизиологических обследований красных полёвок, отловленных в июле-августе 1989—1990 г. методом ловушко-линий в типичных биотопах Среднего Приобья [4, с. 50—55; 5, с. 65—68]. Согласно схеме зоогеографического районирования Тюменской области район исследования находится в пределах средней тайги [3, с. 10—12]. Зверьков отлавливали в естественных местообитаниях и в идентичных биотопах на нефтезагрязнённой территории. Всего проанализировано 39 признаков (абсолютные и относительные размеры тела, черепа и внутренних органов) у 76 красных полёвок, в т. ч. 29 самок и 47 самцов.

По программе Statistica (Version 6) оценивали соответствие эмпирических рядов распределения морфометрических и морфофизиологических признаков нормальному закону Гаусса-Лапласа [1, с. 185—197].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

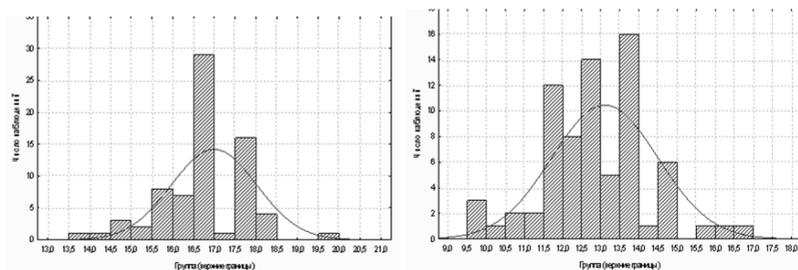
Проведённый анализ показал, что лишь по 15 признакам из 39 (абсолютная длина ступни и уха, абсолютная и относительная масса надпочечника, абсолютные длина, диаметр и масса семенника, относительная масса семенника, относительная длина диастемы, абсолютная длина верхнего ряда зубов, относительная ширина скул,

абсолютная и относительная длина межглазничного промежутка, относительная длина и высота нижней челюсти) эмпирический ряд распределения соответствует теоретически ожидаемому с достаточной вероятностью (рис. 1).

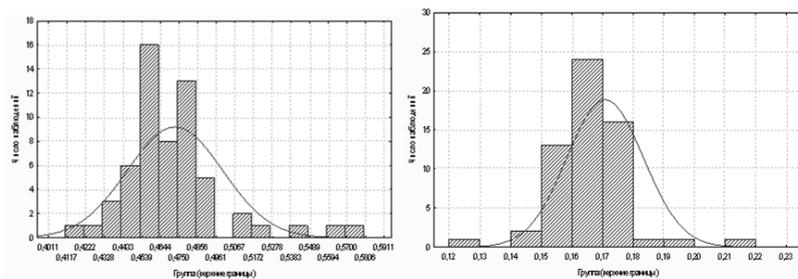
Достоверное отклонение от нормального распределения выявлено для признаков масса тела и абсолютная высота нижней челюсти (табл. 1; рис. 2).

По остальным признакам, указанным в таблице 1 эмпирическое распределение соответствует нормальному с чрезвычайно низкой вероятностью (табл. 1; рис. 3).

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии на изучаемую популяцию какого-то не случайного фактора, которым вероятнее всего, и является нефтяное загрязнение.

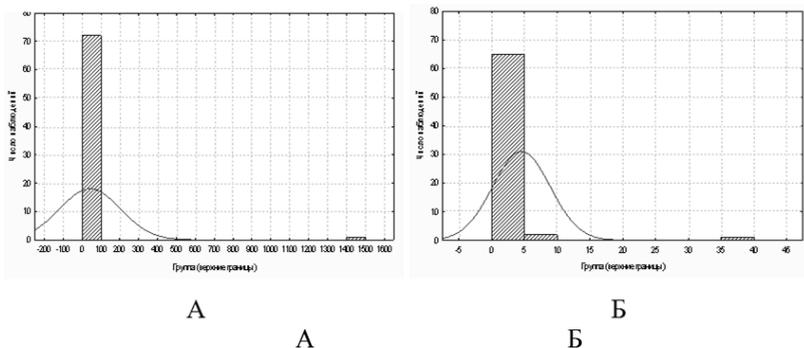


А  $\chi^2=38,01$  при  $P=0,00000$  Б  $\chi^2=21,34$  при  $P=0,0016$



Г  $\chi^2=17,61$  при  $P=0,0035$  Д  $\chi^2=13,71$  при  $P=0,0002$

**Рисунок 1. Соотношение эмпирического и теоретического нормального ряда распределения абсолютной (А) длины ступни, абсолютной (Б) длины уха, относительной длины (Г) и высоты (Д) нижней челюсти**



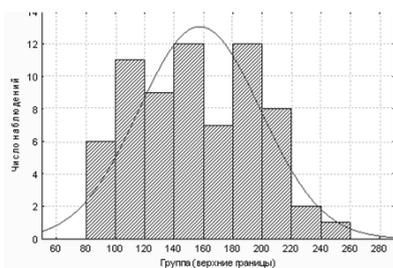
**Рисунок 2. Соотношение эмпирических и теоретических нормальных рядов распределения массы тела (А) и абсолютной высоты нижней челюсти (Б)**

**Таблица 1.**

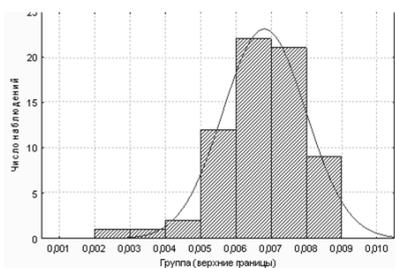
**Сравнение эмпирических и теоретических рядов распределения морфологических признаков в нижневартовской популяции красной полевки**

признак	$\chi^2$ фактич.	$\chi^2$ стандарт. при $P \geq 0,05 / 0,01$ / <b>0,001</b>	Уровень значимости, P
масса тела, г	<b>220,07***</b>	90,5 / 100,4 / 112,3	0,00000
длина тела, мм	2,19	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,70116</b>
относительная длина тела	12,28	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,05609</b>
длина хвоста, мм	3,57	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,73417</b>
относительная длина хвоста	3,44	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,63278</b>
относительная длина ступни	4,84	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,30357</b>
относительная длина уха	6,73	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,15113</b>
абсолютная масса сердца	10,53	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,16036</b>
относительная масса сердца	4,62	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,187</b>
абсолютная масса почки	5,82	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,21316</b>
относительная масса почки	0,48	90,5 / 100,4 / 112,3	<b>0,48957</b>

абсолютная масса тимуса	1,19	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,55030</b>
абсолютная масса селезенки	7,24	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,20338</b>
относительная масса селезенки	8,63	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,07093</b>
относительная длина семенника	6,92	60,5 /68,7 /78,7	<b>0,07459</b>
абсолютная кондиллобазальная длина черепа	6,67	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,15418</b>
относительная длина лицевого отдела	9,83	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,08018</b>
абсолютная длина мозгового отдела	9,01	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,10879</b>
относительная длина мозгового отдела	5,73	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,33333</b>
абсолютная длина диастемы	1,02	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,60037</b>
абсолютная ширина скул	2,59	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,76228</b>
абсолютная длина нижней челюсти	5,45	90,5 /100,4 /112,3	<b>0,14184</b>
абсолютная высота нижней челюсти	<b>91,03*</b>	90,5 /100,4 /112,3	0,00000



**А**



**Б**

**Рисунок 3. Соотношение эмпирического и теоретического рядов распределения абсолютной (А) и относительной (Б) массы почки**

Так, С.Н. Гашев [3, с. 33] указывает на наличие достоверных морфофизиологических различий между выборками красной полёвки с нефтезагрязнённых участков и контрольных местообитаний, в частности по индексам почки (у самцов и самок) и печени (у самок).

Причём отмеченные изменения подтверждаются лабораторными экспериментами, что свидетельствует об их обусловленности непосредственным действием сырой нефти [2, с. 22—23].

Анализ графических рядов распределения признаков показывает тенденцию большего соответствия закону нормального распределения эмпирических рядов относительных размеров органов (индексов) по сравнению с абсолютными. Примером служат эмпирические ряды распределения абсолютной и относительной высоты нижней челюсти (рис. 1, 2). Это подтверждает представление о меньшей подверженности индексов влиянию случайных факторов и обосновывает их преимущественное использование в биомониторинге.

Таким образом, можно считать, что в популяции красной полёвки из зоны загрязнения среды обитания сырой нефтью эмпирическое распределение большинства морфометрических, морфофизиологических и краниометрических признаков отклоняется от нормального.

### **Список литературы:**

1. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. — 688 с.
2. Гашев С.Н. Влияние нефтяного загрязнения на фауну и экологию мелких млекопитающих Среднего Приобья. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1991. — 26 с.
3. Гашев С.Н. Мелкие млекопитающие в системе экологического мониторинга (на примере Тюменской области). Автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Тюмень, 2001. — 49 с.
4. Коновалова (Левых) А.Ю. Внутривидовая изменчивость красной полёвки в Западной Сибири // Сибирское краеведение: Научно-информативный сборник. Ишим: Изд-во ИГПИ, 1994. — С. 50—55.
5. Коновалова (Левых) А.Ю. Внутривидовая изменчивость красной полёвки в Западной Сибири // Научная конференция к 150-летию М.Ю. Певцова: тезисы докладов. Омск: Изд-во ОГПИ, 1993. — С. 65—68.
6. Лакин Г.Ф. Биометрия. Учебное пособие для университетов и педагогических институтов. М.: Высшая школа, 1973. — 343 с.
7. Селюков А.Г., Селюкова Г.П. Биологическая статистика. 1. Статистический анализ одномерной совокупности. Тюмень: ТюмГУ, 1994. — 24 с.
8. Шварц С.С., Смирнов В.С., Добринский Л.Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. — 387 с.

### 3.3. ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

#### АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ НОРМАТИВНЫХ ПРАВОВЫХ АКТОВ ФЕДЕРАЛЬНОГО И КРАЕВОГО УРОВНЯ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

***Брюховских Влада Викторовна***

*магистрант кафедры геоэкологии и природопользования  
Кубанского Государственного Университета,  
РФ, г. Краснодар*

*E-mail: [vladakotova17@gmail.com](mailto:vladakotova17@gmail.com)*

***Болотин Сергей Николаевич***

*канд. хим. наук, доцент Кубанского Государственного Университета,  
РФ, г. Краснодар*

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

#### ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE LEGAL ACTS OF FEDERAL AND REGIONAL LEVEL IN THE FIELD OF WASTE MANAGEMENT AROUND THE KRASNODAR REGION

***Bryukhovskikh Vlada***

*graduate student on Master's program, Department of geocology and  
nature management, Kuban State University,  
Russia, Krasnodar*

***Bolotin Sergey***

*candidate of Chemical sciences, associate professor  
of Kuban State University,  
Russia, Krasnodar*

## АННОТАЦИЯ

Статья посвящена оценке эффективности действия законов в области обращения с отходами на территории Краснодарского края. Применяемые методы: математические, статистические и графические. Рассматривается динамика образования отходов за 16-летний период и устанавливается корреляция количества образуемых отходов с индексом промышленного производства в крае. Подтверждена эффективность федеральных и краевых нормативных правовых актов в области обращения с отходами при условии достаточного финансирования на разных уровнях и направленного государственного регулирования.

## ABSTRACT

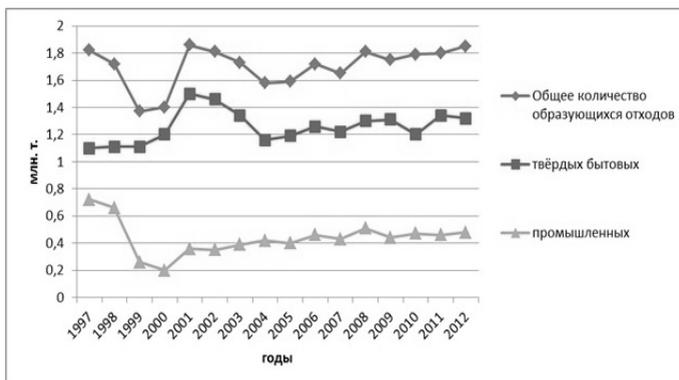
The article is devoted to the estimation of efficiency of laws in the waste management around the Krasnodar region. At the survey were used mathematical, statistical and graphical methods. The dynamic of the waste generation was considered per the 16-year period. During the establishment, the amount of waste generated correlation with the index of industrial production in the region was detected. The effectiveness of federal and provincial waste management regulations were confirmed, according to the sufficient funding and the government regulation at different levels.

**Ключевые слова:** экология; окружающая среда; законы; целевые программы; Краснодарский край; отходы производства; индекс промышленного производства.

**Keywords:** ecology; environment; laws; special-purpose program; Krasnodar region; waste production; index of industrial production.

Главная цель исследования — анализ эффективности действия федеральных и краевых законов, касающихся отходов производства и потребления, на территории Краснодарского края с использованием математических, статистических и графических методов.

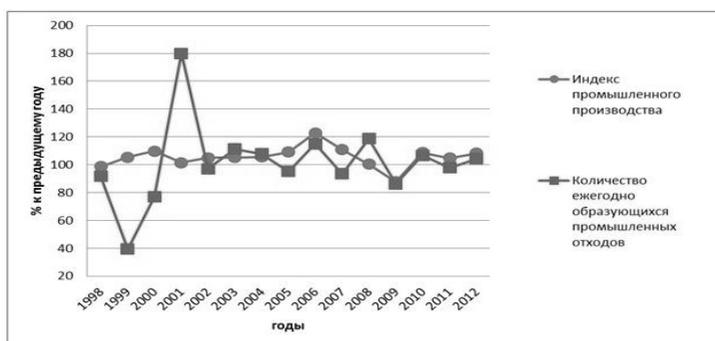
В период с 1997 по 2000 гг. наблюдается снижение общего количества образующихся отходов: в 1997 году образовалось 1,82 млн. тонн отходов, в то время как к 2000 году эта цифра уменьшилась и стала равна 1,4 млн. тонн [1—5] (рис. 1).



**Рисунок 1. Динамика образования отходов за 1997—2012 гг., млн. т.**

Это снижение связано с существенным событием в сфере обращения с отходами — принятием в 1998 г. Федерального закона № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», который в значительной мере регламентирует обращение с отходами. К 2000 г. был разработан и принят аналогичный краевой закон (№ 245-КЗ «Об отходах производства и потребления»).

Чтобы показать результаты принятия федерального и краевого законов по обращению с отходами были сопоставлены индекс промышленного производства [6] и количество ежегодно образующихся промышленных отходов на территории Краснодарского края (рис. 2).



**Рисунок 2. Динамика промышленного производства и количества ежегодно образующихся отходов на территории Краснодарского края 1998—2012 гг., в % к предыдущему году**

До 2001 года индекс промышленного производства имеет устойчивую тенденцию к росту: за 4 года с 1997 по 2000 гг. индекс промышленного производства в крае вырос на 17,8 %. В 2001 году наблюдается падение индекса промышленного производства на 8,2 %, что обусловлено опубликованием в 2001 году Госкомстатом России уточнённых оценок динамики промышленного производства. В результате пересмотра в Краснодарском крае в большей степени изменились индексы по черной металлургии, химической и нефтехимической промышленности, промышленности строительных материалов и пищевой промышленности.

На фоне роста индекса промышленного производства в крае в 1998—1999 гг. наблюдается снижение количества ежегодно образуемых промышленных отходов более чем на 50 %, что было вызвано принятием в 1998 году Федерального закона «Об отходах производства и потребления». Многие крупные организации в этот период предоставляли неполные сведения об образовании отходов в связи с ужесточением санкций и штрафов. В период 1999—2001 гг. отмечается ощутимый (по сравнению с 1998 г. — на 88 %) рост количества ежегодно образуемых промышленных отходов. Такое резкое увеличение вызвано учащением плановых и внеплановых проверок Росприроднадзора, в ходе которых осуществлялась проверка достоверности предоставляемых предприятиями сведений об образованных отходах и доначисление неучтённых отходов.

С 2002 года возобновляется рост индекса промышленного производства, обусловленный повышенной инвестиционной активностью. В 2002—2006 годах общий объем инвестиций составил 574 млрд. рублей, в том числе в 2006 году — 148,8 млрд. рублей, темп роста 115 % относительно 2005 года (самый значительный прирост за последние 5 лет).

Благодаря высокой инвестиционной активности в крае в 2002—2005 гг. наблюдается снижение количества ежегодно образующихся отходов на 65 % по сравнению с 2001 годом, так как часть средств направлялась на решение экологических проблем. В 2002 году были направлены значительные средства на реализацию федеральной целевой программы «Юг России». Программа предусматривала реализацию комплекса проектов и мероприятий, направленных на развитие коммунального хозяйства, предотвращения аварийных и угрожающих ситуаций; особое внимание уделялось разработке мероприятий по решению проблемы отходов производства и потребления в крае. Также в этот период были выделены средства на реализацию ФЦП «Экология и природные ресурсы России (2002—2010 гг.)». В задачи этой программы входила ликвидация пришедших в негодность пестицидов на территории края, переработка токсичных отходов и т. д.

Увеличение на 19 % количества образовавшихся отходов в 2006 г. по отношению к 2005 г. обусловлено постановкой на учёт ряда ранее не отчитывающихся предприятий.

В 2007 г. наблюдается некоторое падение индекса промышленного производства, обусловленное снижением инвестиций в экономику края, а также тем, что многие крупные предприятия вынуждены указывать в отчетности предварительные данные по производству и корректировать их в последующих отчетах. Размеры этих уточнений часто бывают статистически значимыми.

В 2007 году отмечено снижение количества ежегодно образующихся промышленных отходов на 21 %, преимущественно за счет уменьшения количества отходов I, II и IV классов опасности [2].

В 2008 и особенно в 2009 г. в крае произошло резкое снижение индекса промышленного производства. Падение индекса более чем на 20 % к 2009 г. по сравнению с 2007 г. является следствием финансового кризиса, произошедшего в России в 2008 году и имевшего серьёзные последствия для всех регионов страны.

Значительное увеличение количества образовавшихся отходов отмечается в 2008 г., что явилось следствием уменьшения инвестиций в основной капитал, направленный на охрану окружающей среды (454,5 млн. руб. против 537,0 млн. руб. в 2007 г.). Также в этот год в Краснодарском крае Росприроднадзором было проведено 846 проверок (что на 12 % выше, чем в 2007 году — 748 проверок). 2009 год характеризуется существенным снижением количества образованных отходов, что объясняется общим падением промышленного производства в крае [3].

В 2010 году промышленность Краснодарского края в целом компенсировала существенное сокращение физических объемов производства, произошедшее в результате финансово-экономического кризиса. По итогам 2010 года индекс промышленного производства к 2009 году составил 108,1 %. Указанная восстановительная динамика в целом повторяет динамику данного показателя по Российской Федерации. Следствием роста промышленного производства в крае стало значительное увеличение количества образовавшихся отходов в 2010 году.

2011 год характеризуется стагнацией интенсивности промышленного производства за счет роста налогов на бизнес в результате повышения ставок социальных страховых платежей. Количество образовавшихся в 2011 году промышленных отходов практически не изменилось по сравнению с 2010 годом.

За 2012 год индекс промышленного производства вырос на 3,6 % по сравнению с 2011 годом [6]. При этом возросла интенсивность

производства, передачи и распределения электроэнергии, пара и горячей воды, добычи полезных ископаемых. Динамика образования отходов производства сохраняет корреляцию с индексом промышленного производства аналогично предыдущим 2010—2011 гг.

Таким образом, индекс промышленного производства в Краснодарском крае относительно стабильно рос на протяжении всего периода с 1997 по 2012 гг. Единственное резкое падение значения индекса зарегистрировано в 2008—2009 гг., что связано с финансово-экономическим кризисом в стране. Конечный прирост составил 13 %. Количество ежегодно образующихся промышленных отходов за указанный период уменьшилось с 0,72 до 0,48 млн. т., то есть примерно на 33 %. В то же время количество ежегодно образующихся отходов претерпевало существенные колебания по годам.

На основании этих данных можно сделать вывод, что принятые в 1998—2000 гг. федеральный и краевой законы «Об отходах производства и потребления», а также различные федеральные и региональные целевые программы могут приводить к осязаемому снижению количества ежегодно образующихся отходов, но реальное действие этих законов и программ напрямую зависит от финансирования из местных, краевых и федеральных бюджетов, а также из негосударственных источников финансирования. Для получения запланированных результатов при реализации программ и законов необходим жесткий государственный контроль на всех этапах реализации программ.

### **Список литературы:**

1. Доклад «Об экологической ситуации Краснодарском крае». Краснодар, 2011. — 344 с.
2. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края». Краснодар, 2009. — 314 с.
3. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2009 году». Краснодар, 2010. — 328 с.
4. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2011 году». Краснодар, 2012. — 360 с.
5. Доклад «О состоянии природопользования и об охране окружающей среды Краснодарского края в 2012 году». Краснодар, 2013. — 318 с.
6. Индекс промышленного производства по субъектам Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/industrial/#) (дата обращения: 14.11.2013).

**ФОРМИРОВАНИЕ КОНСОРЦИУМА  
УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ  
МИКРООРГАНИЗМОВ  
ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОЧВ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ  
В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ**

*Ерофеевская Лариса Анатольевна*

*научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт проблем нефти и газа  
Сибирского отделения РАН,  
РФ, г. Якутск  
e-mail: [lora-07.65@mail.ru](mailto:lora-07.65@mail.ru)*

*Глязнецова Юлия Станиславовна*

*канд. хим. наук, старший научный сотрудник,  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН,  
РФ, г. Якутск*

**THE FORMATION OF A CONSORTIUM  
OF ACTIVIZATION OF HYDROCARBON OXIDATIVE  
MICROORGANISMS TO CLEAN SOIL  
FROM OIL SPILLS IN THE CLIMATIC CONDITIONS  
OF THE YAKUTIA**

*Erofeevskaya Larisa*

*research associate Institute of Oil and Gas Problems,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Russia, Yakutsk*

*Gliaznetzova Yulija*

*candidate. chem. sciences, senior researcher Institute of Oil and Gas  
Problems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Russia, Yakutsk*

## АННОТАЦИЯ

Проведены лабораторно-полевые эксперименты по изучению влияния биопрепаратов на основе природного сырья на очистку мерзлотной почвы от загрязнений нефтепродуктами. По результатам изучения состава и химической структуры выделенных экстрактов почвенных проб после обработки углеводородокисляющими бактериями *Bacillus vallismortis* ВКПМ В-11017 и *Exiguobacterium mexicanum* ВКПМ В-11011 установлена высокая степень деградации нефтезагрязнения. За один летний сезон, на делянках с биопрепаратами, деструкция нефти составила 73,8 %.

## ABSTRACT

The aim of these works has been the study of permafrost soil purification from oil products contamination. A high degree of degradation and contamination by oil is established according to the results of studying the composition and chemical structure of isolated extracts of soil samples after their treating with indigenous hydrocarbon oxidizing bacteria *Bacillus vallismortis* VKPM V-11017 and *Exiguobacterium mexicanum* VKPM V - 11011. During one summer season on the plots with the biological preparations carriers the oil fuel destruction has made 73,8 %.

**Ключевые слова:** нефть; бактерии; экологическая безопасность; нефтепродукты; деградация; микроорганизмы; экология; биопрепараты; почва; углеводородное загрязнение.

**Keywords:** oil; bacteria; environmental safety; oil products; degradation; microorganisms; ecology; biological products; soil; hydrocarbonic pollution.

Одним из экологически обоснованных и наиболее эффективных методов восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, в настоящее время является микробиологический метод, основанный на активации почвенных микроорганизмов, способных к утилизации нефтяных углеводородов. Для мерзлотных почв Якутии выбор нефтедеструкторов, эффективно работающих в климатических условиях криолитозоны, требует специальных исследований и мониторинга за процессами трансформации и биологической деструкции нефтезагрязнений.

**Цель работы.** Разработать консорциум углеводородокисляющих микроорганизмов перспективный для очистки нефтезагрязненных почв в природно-климатических условиях Якутии.

**Материалы и методы исследований.** В работе исследованы штаммы *Bacillus vallismortis* ВКПМ В-11017 и *Exiguobacterium*

*mexicanum* ВКПМ В-11011, депонированные во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ) ФГУП ГосНИИгенетика, Москва.

Для культивирования штамма использовали метод жидких накопительных культур на минеральной среде Мюнца [2, с. 1024—1030].

В качестве единственного источника углерода использовали нефть Талаканского месторождения, с содержанием 0,82 % парафиновых и 12,4 % смолистых веществ [9, с. 165—170].

Оценку показателя жизнеспособности штамма проводили чашечным методом Коха [7, с. 40].

Идентификацию выделенного штамма проводили на основе изучения их морфологических, культуральных и физиолого-биохимических свойств [3, с. 830; 4, с. 800] с привлечением анализа нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК.

Построение деревьев родства проводили с использованием технических возможностей сайта [10].

Определение нефтепродуктов в водной среде определяли спектрометрическим методом, с использованием концентратомера «ИКН-025» [8].

Качество очистки почв от нефтезагрязнений контролировалось геохимическими методами [1, с. 1030—1033; 5, с. 3—9; 6].

#### **Результаты исследований.**

В результате целенаправленных исследований сформирован консорциум УОМ, перспективный для очистки почв от нефтезагрязнений. Консорциум представлен штаммами *Bacillus vallismortis* ВКПМ В-11017 и *Exiguobacterium mexicanum* ВКПМ В-11011.

Полученные штаммы характеризуются следующими признаками:

1. Штамм *Bacillus vallismortis* ВКПМ В-11017 получен методом накопительных культур из пробы нефтезагрязненной почвы, отобранной на 1351,5 км участка трассы магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь-Тихий Океан».

*Культурально-морфологические признаки.* Грамположительные споровые палочки, в мазках расположены одиночно и короткими цепочками. На МПА формирует сморщенные суховатые колонии бежевого оттенка, диаметром до 1 см; через 1—3 суток колонии окрашиваются в коричневый цвет, субстрат не пигментируют. В МПБ растет в виде морщинистой плёнки бежевого цвета поверх бульона. На агаризированной минеральной среде Мюнца с нефтью формирует непрозрачные матовые серо-бежевые колонии, диаметром 0,1—0,2 см.

*Физиолого-биохимические признаки.* Штамм хорошо растёт при температуре от +8 до +37 °С, в аэробных условиях, при рН 6,0—8,0.

Оптимум роста + 30 °С. Способен к росту в солевом бульоне с добавлением 0,1—2,0 % NaCl. Штамм каталаза положителен, оксидаза отрицателен. Не усваивает лизин и орнитин. Не потребляет цитрат и малонат натрия. Желатин не гидролизует. Крахмал не разлагает. Индол отрицателен. Не образует сероводород. Реакция Фогес-Проскауэра отрицательная. Фенилаланиндезоксаминаза отрицательная. Ферментирует бета галактозидазу.

При секвенировании переменных участков 16S rDNA была получена следующая нуклеотидная последовательность:

```
TCGAGCGGACAGATGGGAGCTTGCTCCCTGATGTTAGCGGC
GGACGGGTGAGTAACACGT
GGGTAACCTGCSTGTAAGACTGGGATAACTCCGGGAAACCG
GGGCTAATACCGGATGCTT
GTTTGAACCGCATGGTTCAAACATAAAAGGTGGCTTCGGCT
ACCACTTACAGATGGACCC
GCGGCGCATTAGCTAGTTGGTGAGGTAATGGCTCACCAAGG
CAACGATGCGTAGCCGACC
TGAGAGGGTGATCGGCCACACTGGGACTGAGACACGGCCC
AGACTCCTACGGGAGGCAGC
AGTAGGGAATCTTCCGCAATGGACGAAAGTCTGACGGAGC
AACGCCGCGTGAGTGATGAA
GGTTTTCGGATCGTAAAGCTCTGTTGTTAGGGAAGAACAAG
TGCCGTTCAAATAGGGCGG
CACCTTGACGGTACCTAACCAGAAAGCCACGGCTAACTACG
TGCCAGCAGCCGCGGTAAT
ACGTAGGTGGCAAGCGTTGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAG
GGCTCGCAGGCGGTTTCTT
AAGTCTGATGTGAAAGCCCCGGCTCAACCGGGGAGGGTCA
TTGGAAACTGGGGAACCTTG
AA
```

Результаты обработки секвенсов при помощи компьютерной программы находящейся на сайте RDB II (Ribosomal Database Project II), предназначенной для определения родства микроорганизмов и построения филогенетических деревьев, представлены в графическом виде:

```
S000003473 0.994 0.942 1423 Bacillus subtilis (T); DSM10;
AJ276351
S000006847 0.994 0.942 1435 Bacillus mojavensis (T); IFO15718;
AB021191
S000012241 0.998 0.998 1440 Bacillus vallismortis (T); DSM11031;
AB021198
```

S000014133 0.996 0.986 1426 *Bacillus atrophaeus* (T); JCM9070;  
 AB021181  
S000428475 0.998 0.964 1337 *Bacillus subtilis* (T); NRRL B-23049;  
 AF074970  
S000734915 0.994 0.967 1389 *Bacillus amyloliquefaciens* (T); NBRC  
 15535  
S000858651 0.988 0.863 1465 *Bacillus licheniformis* (T); ATCC  
 1458; DSM 13  
S000858655 0.988 0.863 1466 *Bacillus licheniformis*(T); ATCC  
 14580; DSM 13  
S000858658 0.988 0.863 1468 *Bacillus licheniformis* (T); ATCC  
 14580; DSM13

Скрининг по базе данных GenBank и RDP-II показал, что исследуемый штамм принадлежит к следующим систематическим группам *Bacteria*; *Firmicutes*; *Bacilli*; *Bacillales*; *Bacillaceae*; *Bacillus*, гомология с видом *Bacillus vallismortis* составляет 99 %.

2. Штамм бактерий *Exiguobacterium mexicanum* ВКПМ В-11011 получен методом накопительных культур из пробы нефтезагрязненной почвы, отобранной на 4,038 км шлейфа участка трассы магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь-Тихий Океан».

*Культурально-морфологические признаки.* Грамположительные палочки, размером 0,8—1,0 мкм. В мазках располагаются скоплениями и попарно. Факультативные анаэробы. Спор и капсул не образуют. На МПА формируют влажные, от грязно-желтого до оранжевого цвета колонии округлой формы. В МПБ вызывает диффузное помутнение с образованием пленки поверх бульона. На агаризированной минеральной среде Мюнца с нефтью растет в виде непрозрачных матовых колоний, диаметром 1—3 мм.

*Физиолого-биохимические признаки.* Штамм растёт при температуре от +4 до +37 °С при pH 6,0—8,0, лучше в аэробных условиях. Оптимум роста + 20+25 °С. Растёт в солевом бульоне с добавлением 0,1—2,0 % NaCl. Штамм каталаза положителен, оксидаза отрицателен. Не усваивает многоатомные спирты. Слабо ферментирует глюкозу и сахарозу. Не усваивает лизин и орнитин. Не потребляет цитрат и малонат натрия. Желатин не гидролизует. Крахмал не разлагает. Индол отрицателен. Реакция Фогес-Проскауэра отрицательная. Фенилаланиндезоксаминаза отрицательная. Ферментирует бета галактозидазу.

При секвенировании переменных участков 16S rDNA получена следующая собранная нуклеотидная последовательность:

GACGGAACCCCTTCGGGGGAAGTCGACGGAATGAGCGGCG  
GACGGGTGAGTAACACGTAA  
AGAACCTGCCCTCAGGTCTGGGATAACCACGAGAAATCGGG  
GCTAATACCGGATGGGTCA  
TCGGACCGCATGGTCCGAGGATGAAAGGCGCTTCGGCGTCG  
CCTGGGGATGGCTTTGCGG  
TGCATTAGCTAGTTGGTGGGGTAATGGCCCACCAAGGCGAC  
GATGCATAGCCGACCTGAG  
AGGGTGATCGGCCACTGGGACTGAGACACGGCCCAGAC  
TCCTACGGGAGGCAGCAGTA  
GGGAATCTTCCACAATGACGAAAGTCTGATGGAGCAACGC  
CGCGTGAACGATGAAGGCC  
TTCGGGTCTGTAAGTTCTGTTGTAAGGGAAGAACAAGTGCC  
GCAGGCAATGGCGGCACCT  
TGACGGTACCTTGCGAGAAAGCCACGGCTAACTACGTGCCA  
GCAGCCGCGGTAATACGTA  
GGTGGCAAGCGTTGTCCGGAATTATTGGGCGTAAAGCGCGC  
GCAGGCGGCCTCTTAAGTC  
TGATGTGAAAGCCCCGGCTCAACCGGGGAAGGCNTTGAAC  
GGGAAGCTGAGTATA

Результаты обработки секвенсов при помощи компьютерной программы (Ribosomal Database Project II) представлены в графическом виде:

S000417444 0.938 0.711 1403 *Exiguobacterium indicum* (T); HHS 31; AJ846291  
S000439502 0.940 0.723 1423 *Exiguobacterium oxidotolerans* (T); AB105164  
S000466589 0.975 0.870 1405 *Exiguobacterium profundum* (T); 10C; AY818050  
S000504076 0.977 0.898 1422 *Exiguobacterium aestuarii* (T); TF-16; AY594264  
S000504078 0.973 0.872 1420 *Exiguobacterium marinum* (T); TF-80; AY594266  
S000571530 0.990 0.972 1321 *Exiguobacterium mexicanum* (T); 8N; AM072764  
S000650873 0.942 0.716 1458 *Exiguobacterium antarcticum* (T); DSM 14480  
S000650874 0.943 0.725 1458 *Exiguobacterium undae* (T); DSM 14481; DQ019165

S000650875 0.990 0.930 1448 *Exiguobacterium aurantiacum* (T); DSM 6208

S000650876 0.936 0.709 1451 *Exiguobacterium acetylicum* (T); DSM 20416

Скрининг по базе данных GenBank и RDP-II показал, что исследуемый штамм принадлежит к следующим систематическим группам *Bacteria*; *Firmicutes*; *Bacilli*; *Bacillales*; *Bacillaceae*; *Exiguobacterium*, гомология с видом *Exiguobacterium mexicanum* составляет 99 %.

Установлено, что штаммы не проявляют антагонистической активности по отношению друг к другу, способны расти на минеральной среде Мюнца, обладают утилизирующей способностью по отношению к нефти, сохраняют свою жизнеспособность после зимнего периода, что позволяет использовать консорциум для очистки нефтезагрязненных почв в течение всего вегетационного периода.

За 1 северное лето деградация нефти в почве обработанной суспензиями на основе монокультур штаммов *Exiguobacterium mexicanum* ВКПМ В-11011 и *Bacillus vallismortis* ВКПМ В-11017 составила 63,9 и 64,3 % соответственно, при этом обработка почвы смесью культур в соотношении 1:1 способствовала утилизации нефтепродуктов до 73,8 %, в то время, как естественные потери нефти в почве, не обработанной бактериальной суспензией, составили 4,1 % за тот же промежуток времени (таблица 1).

**Таблица 1.**

**Динамика деструкции нефтезагрязнения под влиянием штаммов *Bacillus vallismortis* ВКПМ В-11017 и *Exiguobacterium mexicanum* ВКПМ В-11011**

Вариант опыта	Содержание НП, мг/кг		Степень деградации, %
	май	сентябрь	
Контроль (почва + нефть)	29823	28598	4,1
Почва + нефть + <i>B. vallismortis</i> В-11017	19742	7050	64,3
Почва + нефть + <i>Ex.mexicanum</i> В-11011	10689	3862	63,9
Почва + нефть + смесь штаммов В-11017+В-11011	15101	3960	73,8

Таким образом, разработан консорциум штаммов на основе бактерий *Exiguobacterium mexicanum* ВКПМ В-11011 и *Bacillus*

*vallismortis* ВКПМ В-11017 перспективный для очистки почв от нефтезагрязнений в природно-климатических условиях Якутии.

#### **Вывод.**

Применение консорциума штаммов на основе бактерий *Exiguobacterium mexicanum* ВКПМ В-11011 и *Bacillus vallismortis* ВКПМ В-11017 актуально в следующих направлениях:

1. Стимуляция естественной углеводородоокисляющей микрофлоры мерзлотных почв, участвующей в биодegradации нефтяных загрязнений;

2. Оптимизация процессов биологического окисления нефти и нефтепродуктов с целью достижения высокого эффекта в очистке и доочистке нефтезагрязненных мерзлотных почв;

3. Снижение токсичности почв и стимулирование появления естественного растительного покрова на загрязненных участках, что значительно улучшает санитарно-экологическое состояние нарушенных земель.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГУП ГосНИИгенетика за выполнение таксономических исследований.

#### **Список литературы:**

1. Зуева И.Н., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Лифшиц С.Х. Методы органической геохимии при мониторинге нефтезагрязнений и ремедиации почв // Известия Самарского научного центра РАН. — Том 12(33) — № 1 (4), — 2010. — С. 1030—1033.
2. Керстен Д.К. Морфологические и культуральные свойства индикаторных микроорганизмов нефтегазовой съемки // Микробиология, — 1963, — № 5, — С. 1024—1030.
3. Красильников Н.А. Определитель бактерий и актиномицетов, М.-Л., Изд. АН СССР, 1949. — 830 с.
4. Определитель бактерий Берджи / под Ред. Д. Хоулта, Н. Крига, П. Снута и др. М.: Мир, — 1997, — т. 1—2, — 800 с.
5. Петров С.И., Тюлягина Т.Н., Василенко П.А. Определение нефтепродуктов в объектах окружающей среды (обзор) // Заводская лаборатория. — 1998. — № 9. — Том 65. — С. 3—19.
6. РД 52.18.647-2003. Методические указания определения массовой доли нефтепродуктов в почвах. Методика измерений гравиметрическим методом.
7. Сакович Г.С., Безматерных М.А. Физиология и количественный учет микроорганизмов: Методические указания. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. — 40 с.

8. ФР.1.31.2007.03234 МВИ 01.02.117 Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, природных и сточных водах ИК-спектрометрическим методом с использованием концентратомера «ИКН-025».
9. Чалая О.Н., Зуева И.Н., Лифшиц С.Х., Трущелева Г.С., Иванова И.К. Состав и свойства нефти Талаканского месторождения //Малотоннажная переработка нефти и газа в Республике Саха (Якутия): Материалы конференции (26—27 июля 2001 г., г. Якутск). Якутск, Изд-во ЯЧНЦ СО РАН, 2001. — С. 165—170.
10. Ribosomal Database Project II. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://rdp.cme.msu.edu> (дата обращения: 02.09.12)

## СЕКЦИЯ 4.

### ХИМИЯ

#### 4.1. БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

##### **АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ И АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ PHLOMOIDES ALPINA (PALL.) ADYLOV, KAMELIN & МАКНМ. ИЗ КАЗАХСТАНА**

***Молдахметова Гүлжан Куандыковна***

*младший научный сотрудник института прикладной химии,  
студентка 4 курса кафедры химии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [mgk\\_0192@mail.ru](mailto:mgk_0192@mail.ru)*

***Ишмуратова Маргарита Юлаевна***

*канд. биол. наук, доцент кафедры фармацевтических дисциплин  
Карагандинского университета «Болашақ»,  
Республика Казахстан, г. Караганды  
E-mail: [margarita.ishmur@mail.ru](mailto:margarita.ishmur@mail.ru)*

***Искакова Жанар Бактыбаевна***

*канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник института  
прикладной химии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [zhanariskakova@mail.ru](mailto:zhanariskakova@mail.ru)*

***Джалмаханбетова Роза Илемисовна***

*д-р хим. наук, ВНС института прикладной химии  
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [rozadichem@mail.ru](mailto:rozadichem@mail.ru)*

**Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы**

*канд. хим. наук, PhD, ГИС института прикладной химии,  
доцент кафедры химии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [syerlan75@yandex.kz](mailto:syerlan75@yandex.kz)*

**ANTIRADICAL ACTIVITY OF EXTRACTS  
AND ANATOMICAL STRUCTURE OF PHLOMOIDES  
ALPINA (PALL.) ADYLOV, KAMELIN & MAKHM.  
FROM KAZAKHSTAN**

***Moldahmetova Gulzhan***

*junior Researcher of the Institute of Applied Chemistry of ENU,  
4th year student of the Chemistry Department of L.N. Gumilev ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

***Ishmuratova Margarita***

*candidate of biol. Sciences, assistant Professor of Pharmaceutical Sciences  
Karaganda University "Bolashak",  
Republic of Kazakstan, Karagandy*

***Iskakova Zhanar***

*candidate of Chem. Science, Leading Researcher  
of the Institute of Applied Chemistry of ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

***Jalmakhanbetova Roza***

*doctor of Chem. Science, Leading Researcher  
of the Institute of Applied Chemistry of ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

***Suleimen Yerlan***

*candidate of Chem. Science, PhD, Chief Researcher  
of the Institute of Applied Chemistry of ENU, Associate Professor  
of Chemistry Department of L.N. Gumilev ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

Работа выполнена по грантам 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, флавоноидов и их биоскрининг» и «Создание образцов продукции под брендом «Ароматы степей Казахстана».

## АННОТАЦИЯ

Проведено изучение антирадикальной активности наработанных экстрактов *Phlomooides alpina* (Pall.) Adylov, Kamelin & Makhm., изучено анатомическое строение растения.

## ABSTRACT

The study of antiradical activity of *Phlomooides alpina* (Pall.) Adylov, Kamelin & Makhm. extracts and anatomy structure of plant material was done.

**Ключевые слова:** антирадикальная активность; DPPH; анатомическое строение; экстракт; *Phlomooides alpina* (Pall.) Adylov; Kamelin & Makhm.

**Keywords:** antiradical activity; DPPH; anatomical structure; extract; *Phlomooides alpina* (Pall.) Adylov; Kamelin & Makhm.

Материалом для настоящего исследования является многолетнее растение *Phlomooides alpina* (Pall.) Adylov, Kamelin & Makhm. (зопник альпийский) семейства *Lamiaceae* Lindl. Принадлежность к этому семейству объясняет ярко выраженный аромат, который определяется присутствием на всех или на некоторых частях растения желёзок, выделяющих эфирные масла сложного состава (в них входят ароматические спирты, фенолы, терпены, альдегиды и другие органические соединения). Именно присутствием этих масел в значительной степени определяется практическое использование губоцветных в качестве технических, лекарственных и ароматических растений. Это растение не образует зарослей, встречается рассеянно небольшими группами из нескольких особей. Местом распространения является среднегорные и высокогорные луга Республики Алтай, Средней и Восточной Азии [5].

Исходное сырье собрано в высокогорье хребта Ивановский. Сроки заготовок — конец июля — первая декада августа 2012 г.

Объектом же исследования являются сухие экстракты листьев и цветков, в качестве экстрагентов были использованы гексан, этилацетат и бутанол.

Целью работы явилось изучение антирадикальной активности гексанового, этилацетатного и бутанольного экстрактов растения *Ph. alpina* и исследование анатомического строения растения.

*Экстракция.* Мелкоизмельченную надземную часть (листья, цветочные корзинки) *Ph. alpina* экстрагировали со смесью хлороформа и спирта. Экстракция проводилась 3-х-кратно, соотношение сырье-экстрагент 1:10. Хлороформно-спиртовое извлечение объединяли и упаривали на роторном испарителе. Полученную сумму экстрактивных веществ далее подвергали экстракцией гексаном, этилацетатом и бутанолом.

*Методика исследования антирадикальной активности.* Для определения ингибирования 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил-радикала к 0,1 мл исследуемого образца в диапазоне концентраций 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1 мг/мл добавляли 3 мл  $6 \times 10^{-5}$  М раствора радикала. Центрифужные пробирки находились в штативе, завернутого в черный полиэтилен. После интенсивного перемешивания растворы оставлялись в темноте и через 30 минут производили измерение оптической плотности при длине волны 520 нм. Значения величины антирадикальной активности (АРА) исследуемых объектов определяли по формуле:

$$\text{АРА (\%)} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100,$$

где:  $A_0$  — оптическая плотность контрольной пробы;

$A_t$  — оптическая плотность рабочего раствора [6].

Измерение оптической плотности исследуемых экстрактов производили при 520 нм на приборе Сагу 60. Антирадикальную активность исследуемых экстрактов сравнивали с антирадикальной активностью бутилгидроксианизола (ВНА). Значения исследуемых экстрактов антирадикального эффекта, рассчитанные по формуле, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Антирадикальная активность (%) экстрактов при разных концентрациях

№	Исследуемые вещества	Концентрация экстрактов (мг/мл)				
		0,1	0,25	0,5	0,75	1,0
1	Бутилгидроксианизол	80,0	80,7	80,3	80,5	80,7
2	Гексановый экстракт <i>Ph. alpina</i>	15,53	30,95	42,13	45,50	43,11
3	Этилацетатный экстракт <i>Ph. alpina</i>	57,42	64,87	64,24	62,41	58,14
4	Бутанольный экстракт <i>Ph. alpina</i>	23,58	24,93	56,65	61,45	62,09

На основании полученных данных (табл. 1) и графика (рис. 1) видно, что все исследованные экстракты *Ph. alpina* имеют невысокую антирадикальную активность по сравнению с ВНА.

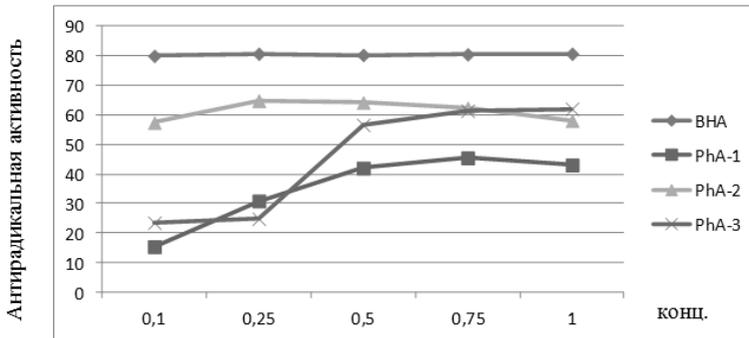


Рисунок 1. Динамика антирадикальной активности при изменении концентрации образцов

Нами установлено, что среди трех экстрактов *Ph. alpina* низкой антирадикальной активностью обладает гексановый экстракт (PhA-1), средней антирадикальной активностью — этилацетатный экстракт (PhA-2), а бутанольный экстракт (PhA-3) в концентрациях 0,1 и 0,25 мг/мл имеет минимальную оптическую плотность, но затем при концентрациях 0,5; 0,75 и 1,0 мг/мл значительно увеличивается.

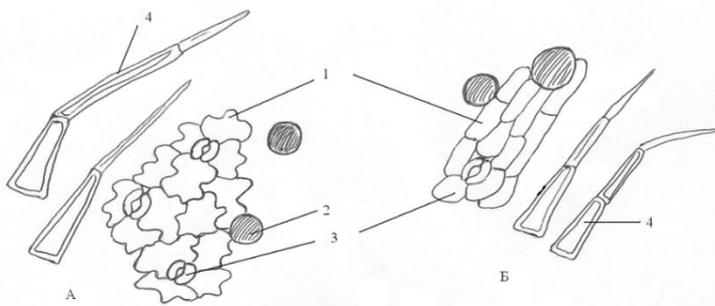
Таким образом, на основании полученных данных установлено, что все исследованные экстракты *Phlomis alpina* имеют не высокую антирадикальную активность по сравнению с ВНА.

*Анатомическое исследование Phlomis alpina.*

**Материалы и методы.** Объектом исследования являлись надземные части (листья и стебли) *Ph. alpina*, собранного в фазе плодоношения.

При исследовании *Ph. alpina* сухие образцы сырья размачивали в горячей воде и размягчали в смеси глицерин-спирт-вода дистиллированная в соотношении 1:1:1 [2, 4], 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, 3].

**Анатомия.** Клетки нижнего эпидермиса извилисто-стенные, верхнего эпидермиса — прозенхимные, прямостенные (рис. 2). Устьица аномоцитного типа (окружены 4 и более клетками эпидермы) и встречаются на обеих сторонах листа, но преобладают на нижней. Листья опушены простыми многоклеточными трихомами, крупными, стенки их утолщены, некоторые трихомы имеют коленный изгиб. Эфирно-масличные железки округлой формы, крупные, темно-окрашенные, приподнимаются над поверхностью эпидермиса.

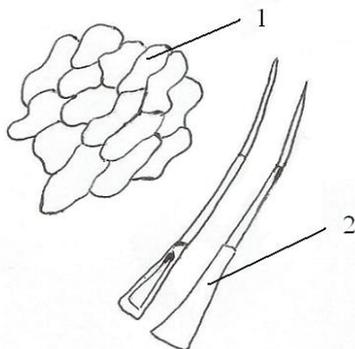


**Рисунок 2. Препарат листа *Ph. alpina* с поверхности.**

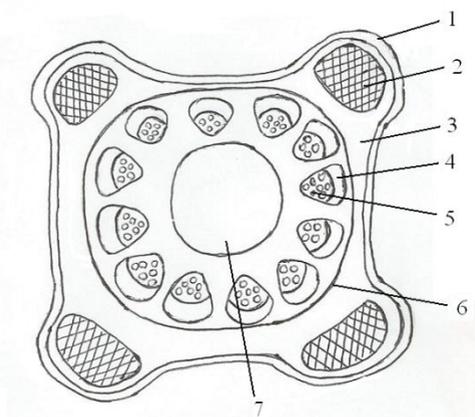
**Ув. 15x10: А — нижний эпидермис, Б — верхний эпидермис, 1 — основные клетки эпидермы, 2 — эфирно-масличные железки, 3 — устьица, 4 — простые многоклеточные трихомы**

Чашелистники крупные, сросшиеся в трубку с зубчатыми отгибами. Эпидермис внешнего края состоит из округлых или протя-

женных клеток с извилистыми стенками. Поверхность не густо опушена длинными многоклеточными простыми трихомами (рис. 3).



**Рисунок 3. Эпидермис чашелистника *Ph. alpina* с поверхности.**  
Ув. 15x10: 1 — основные клетки эпидермиса, 2 — трихомы



**Рисунок 4. Схема поперечного среза стебля *Ph. alpina*.**  
Ув. 15x10: 1 — эпидермис, 2 — колленхима, 3 — хлоренхима,  
4 — флоэма, 5 — ксилема, 6 — эндодерма, 7 — внутренняя полость

Стебель на поперечном срезе 4-гранный (рис. 4), полый внутри. Периферическая часть покрыта 1-слойным эпидермисом, под ним в углах находятся участки уголковой колленхимы, между углами 2—3 слоя ассимиляционной ткани хлоренхимы. Центральный цилиндр отделен от коровой зоны слоем эндодермы, клетки которого

тангентально утолщенные. Проводящая система пучкового типа. Пучки многочисленные, мелкие, образуют кольцевую зону; коллатерального типа (флоэма снаружи, ксилема внутри), закрытые (камбий отсутствует).

Таким образом, диагностическими признаками сырья *Phlomis alpina* (Pall.) Adylov, Kamelin & Makhm. являются форма клеток эпидермиса листа и стебля, округлые эфирно-масличные железки, форма и строение кроющих трихом.

### **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. Долгова А.А., Ладыгина Е.Я. Руководство к практическим занятиям по фармакогнозии. М.: Медицина, 1977. — 255 с.
3. Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: КомКнига, 2007. — 512 с.
4. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высшая школа, 1960. — 206 с.
5. Тахтаджян А.Л. Жизнь растений. М.: Просвещение, 1974. — 47 с.
6. Sawant O., Kadam V.J., Ghosh R. In vitro Free Radical Scavenging and Antioxidant Activity of *Adiantum lunulatum* // Journal of Herbal Medicine and Toxicology. — 2009. — № 3(2). — P. 39—44.

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ  
И АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ  
ARTEMISIA TSCHERNIEVIANA BESSER  
ИЗ КАЗАХСТАНА**

***Сисенгалиева Гүлсана Ғалымжанқызы***

*младший научный сотрудник института прикладной химии,  
студентка 4 курса специальности химия ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [gulok\\_93\\_3@mail.ru](mailto:gulok_93_3@mail.ru)*

***Ишмуратова Маргарита Юлаевна***

*канд. биол. наук, доцент кафедры фармацевтических дисциплин  
Карагандинского университета «Болашак»,  
Республика Казахстан, г. Караганды  
E-mail: [margarita.ishmur@mail.ru](mailto:margarita.ishmur@mail.ru)*

***Искакова Жанар Бактыбаевна***

*канд. хим. наук, ВНС института прикладной химии  
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [zhanariskakova@mail.ru](mailto:zhanariskakova@mail.ru)*

***Джалмаханбетова Роза Илемисовна***

*д-р хим. наук, ВНС института прикладной химии  
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [rozadichem@mail.ru](mailto:rozadichem@mail.ru)*

***Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы***

*канд. хим. наук, PhD, ГНС института прикладной химии,  
доцент кафедры химии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [syerlan75@yandex.kz](mailto:syerlan75@yandex.kz)*

**STUDY OF BIOLOGICAL ACTIVITY  
AND ANATOMIC STRUCTURE OF ARTEMISIA  
TSCHERNIEVIANA BESSER FROM KAZAKSTAN**

***Sissengaliyeva Gulsana***

*junior Researcher of the Institute of Applied Chemistry of ENU,  
4th year student of the speciality chemistry of L.N. Gumilev ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

***Ishmuratova Margarita***

*candidate of Biol. Sciences, assistant Professor of Pharmaceutical Sciences  
Karaganda University "Bolashak",  
Republic of Kazakstan, Karagandy*

***Iskakova Zhanar***

*candidate of Chem. Science, Leading Researcher  
of the Institute of Applied Chemistry of ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

***Jalmakhanbetova Roza***

*doctor of Chem. Science, Leading Researcher  
of the Institute of Applied Chemistry of ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

***Suleimen Yerlan***

*candidate of Chem. Science, PhD, Chief Researcher  
of the Institute of Applied Chemistry of ENU,  
Associate Professor of Chemistry Department of L.N. Gumilev ENU,  
Republic of Kazakstan, Astana*

*Работа выполнена по грантам 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».*

## АННОТАЦИЯ

Проведено изучение антирадикальной и цитотоксической активности наработанных экстрактов и эфирного масла *Artemisia tschernieviana* Besser, изучено анатомическое строение растения.

## ABSTRACT

The studies of antiradical and cytotoxic activities of extracts and essential oil of *Artemisia tschernieviana* Besser, anatomy structure of plant were done.

**Ключевые слова:** антирадикальная активность; цитотоксическая активность; DPPH; ВНА; анатомическое строение; эфирное масло; хлороформный экстракт; этилацетатный экстракт; этанольный экстракт; хлороформно-этанольный экстракт; *Artemisia tschernieviana* Besser.

**Keywords:** antiradical activity; cytotoxic activity; DPPH; ВНА; anatomical structure; essential oil; chloroform extract; ethyl acetate extract; ethanol extract; chloroform-ethanol extract; *Artemisia tschernieviana* Besser.

*Artemisia* L. — это род семейства *Asteraceae* Dumort, насчитывающий более 400 видов. *Artemisia tschernieviana* Besser (полынь Черняева) — полукустарничек, 50—100 см высотой; с длинными веточками, почти от основания ветвящимися. Листья черешковые, в очертании продолговато-яйцевидные, 2—6 см длиной и до 3 см шириной, гладкие, дважды перисто рассеченные. Цветочные корзинки широко-яйцевидные, до 4 мм шириной, немногочисленные, сидят на коротких ножках. Растет в пустынной зоне, на песках. Встречается в Прикаспии, Бузачи, на Мангышлаке. Общее распространение: Кавказ. Эндем Прикаспийского региона [5].

Ранее была изучена антиоксидантная и антигемолитическая активность полыни из Ирана [9], с помощью метода гидродистилляции получено эфирное масло, изучена его антимикробная активность и определены его основные компоненты [8, 12], получено эфирное масло с помощью микроволнового метода выделения “Solvent free” и определены его основные компоненты [6].

Нами проведено изучение антирадикальной и цитотоксической активности экстрактов и эфирного масла *A. tschernieviana*, а также проведено исследование анатомического строения данного эфиромасличного сырья.

Надземную часть сырья *A. tschernieviana* (листья и стебли) собирали в фазе бутонизации на берегу Каспийского моря 22—23 июля 2013 г. в Мангыстауской области, окр. г. Актау), высушивали и измельчали.

Для изучения антирадикальной активности получили несколько экстрактов *A. tschernieviana* Besser: хлороформный (Atsch-1), этилацетатный (Atsch-2), этанольный (Atsch-3). Экстракты получали следующим образом: на аппарате Сосклет измельченную надземную часть *A. tschernieviana* экстрагировали этилацетатом, хлороформом, со смесью хлороформа — этанола (соотношение 1:1) (Atsch-5) и этанолом. Затем полученные экстракты упаривали на роторном испарителе.

Эфирное масло (Atsch-4) получено методом гидродистилляции на аппарате Клевенджера.

*Метод исследования.* Для определения ингибирования 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилрадикала (DPPH) к 0,1 мл спиртового раствора исследуемых растворов в диапазоне концентраций 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 и 1,0 мг/мл добавляли 3 мл  $6 \cdot 10^{-5}$  М раствора радикала. Пробирки находились в штативе, завернутого в черный полиэтилен. После интенсивного перемешивания растворы оставались в темноте на 30 минут, далее измеряли оптические плотности при 520 нм. Значения величины антирадикальной активности (АРА) исследуемых объектов определяли по формуле:

$$ARA (\%) = A_0 - A_t / A_0 \cdot 100,$$

где:  $A_0$  — оптическая плотность контрольного образца;

$A_t$  — оптическая плотность рабочего образца.

Оптическую плотность исследуемых растворов зависимость от концентрации измеряли на спектрофотометре Сору 60 при длине волны 520 нм, оптические плотности представлены в таблице 1. Антирадикальную активность экстрактов и эфирного масла мы сравнивали с бутилгидроксианизолом (ВНА) [11].

**Таблица 1.**

**Изменение оптической плотности растворов в зависимости от концентрации**

№	Образцы	Величина оптической плотности при концентрации (мг/мл)				
		0,1	0,25	0,5	0,75	1,0
1	ВНА	0,1278	0,1240	0,1260	0,1250	0,1240
2	Atsch-1	0,2479	0,2554	0,2373	0,2359	0,2558
3	Atsch-2	0,3745	0,2670	0,2726	0,3296	0,432
4	Atsch-3	0,3216	0,1395	0,1409	0,1521	0,1606
5	Atsch-4	0,8819	0,8951	0,8869	0,8847	0,9116

Значения антирадикальной активности экстрактов и эфирного масла, рассчитанные по формуле, приведены в таблице 2.

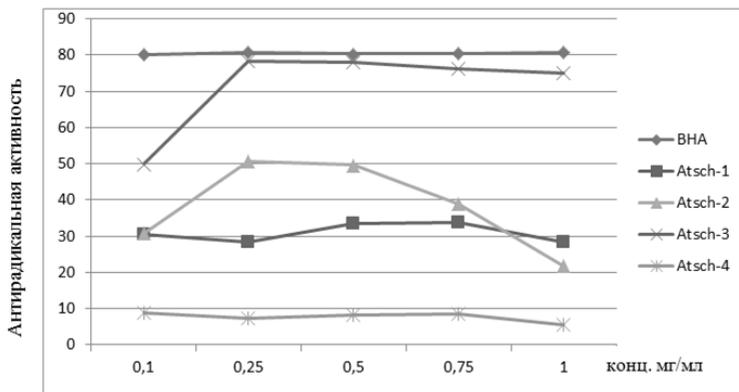
**Таблица 2.**

**Антирадикальная активность (АРА %) веществ при разных концентрациях рабочих растворов**

№	Исследуемые вещества	Концентрация веществ (мг/мл)				
		0,1	0,25	0,5	0,75	1,0
1	ВНА	80	80,7	80,3	80,5	80,7
2	Atsch-1	30,5	28,42	33,49	33,88	28,30
3	Atsch-2	30,79	50,64	49,62	39,09	21,83
4	Atsch-3	49,92	78,27	78,05	76,31	74,99
5	Atsch-4	8,75	7,38	8,24	8,46	5,68

На основании проведенного эксперимента можно предположить, что эфирное масло растения *A. tschernieviana* Besser (Atsch-4) проявляет низкую антирадикальную активность во всех концентрациях. Среди экстрактов этого растения, АРА хлороформного экстракта (Atsch-1) составляет около 30 %, этилацетатный экстракт (Atsch-2) в концентрациях 0,25 и 0,5 мг/мл показал среднюю АРА, но в концентрации 1 мг/мл проявил низкую активность. Антирадикальная активность этанольного экстракта (Atsch-3) растения *A. tschernieviana* Besser при концентрации 0,1 мг/мл была равна 49,92 %, а в остальных случаях показал высокую активность приближенной АРА к веществу ВНА (рисунок 1).

Таким образом, исследуя антирадикальную активность эфирного масла и экстрактов *Artemisia tschernieviana* Besser установлено, что наименьшую АРА имеет эфирное масло, а наиболее высокий показатель проявляет этанольный экстракт. Дальнейшее исследование экстрактов в будущем, может привести к нахождению новых лечебных свойств *A. tschernieviana* Besser.



**Рисунок 1. Динамика антирадикальной активности при изменении концентрации веществ**

Также нами изучена цитотоксическая активность экстрактов и эфирного масла растения *A. tschernieviana* Besser.

*Метод определения цитотоксической активности* [7, 10]. Делительную воронку на 55 мл заполняли искусственной морской водой и добавляли 200 мг яиц *Artemia salina*. Выдерживали в течение 3-х дней при мягкой подаче воздуха пока рачки не вывелись из яиц. Одну сторону трубы покрывали алюминиевой фольгой, и 5 мин спустя, личинок, которые собирались на яркой стороне делительной воронки, вынимали пипеткой Пастера.

20—40 личинок помещали в 990 мл морской воды в каждой из 24 микроплашек. Подсчитывали мертвых личинок под микроскопом. Добавляли по 10 мл раствора диметилсульфоксида на 10 мг/мл образца. В качестве препарата сравнения использовали актиномицин Д или стауроспорин. Для отрицательного контроля добавляли только 10 мл диметилсульфоксида. После 24 ч инкубации и дальнейшем выдерживании микроплашки в течение 24 ч (для обеспечения неподвижности) посчитывали мертвые личинки под микроскопом. Образцы с высокой цитотоксической эффективностью (менее 5 % выживших личинок) проверяли снова с концентрациями 50, 10, 5 и 1 мг/мл.

Смертность P определяют по следующей формуле:

$$P = \frac{A - N - B}{Z} \times 100$$

A= количество мертвых личинок после 24 ч; N= количество мертвых личинок до проведения теста; B= среднее количество мертвых личинок в отрицательном контроле; Z= общее количество личинок.

**Таблица 3.**

**Цитотоксическая активность разных экстрактов и эфирного масла растения *A. tschernieviana***

Исследуемый образец	Конц-я, мг/мл	К-во личинок в контроле		К-во личинок в образце			% выживших личинок в контроле	% выживших личинок в образце	Смертельность, А, %	Наличие нейротоксичности, %
		выж.	погиб.	выж.	погиб.	пар.				
Atsch-4	10	22	2	0	25	0	92	0	92	0
	5	22	2	0	22	0	92	0	92	0
	1	22	2	0	23	0	92	0	92	0
Atsch-2	10	21	1	0	17	6	95	0	74	21
	5	21	1	0	14	7	95	0	67	28
	1	21	1	0	5	6	95	0	24	71
Atsch-1	10	21	1	21	3	0	96	88	8	0
	5	21	1	28	1	0	96	96	0	0
	1	21	1	24	0	0	96	96	0	0
Atsch-5	10	21	1	18	6	0	96	75	21	0
	5	21	1	24	3	0	96	89	7	0
	1	21	1	22	1	0	96	96	0	0
Atsch-3	10	21	1	24	2	0	96	92	4	0
	5	21	1	23	1	0	96	96	0	0
	1	21	1	23	0	0	96	96	0	0

Исследование показало, что эфирное масло *A. tschernieviana* во всех концентрациях оказывает острую летальную токсичность — все личинки погибают. Этилацетатный экстракт *A. tschernieviana* в концентрациях 10 и 5 мг/мл проявляет острую летальную токсичность — все личинки погибают, а в концентрации 1 мг/мл гибель личинок составляет — 24 %. Хлороформный, хлороформно-

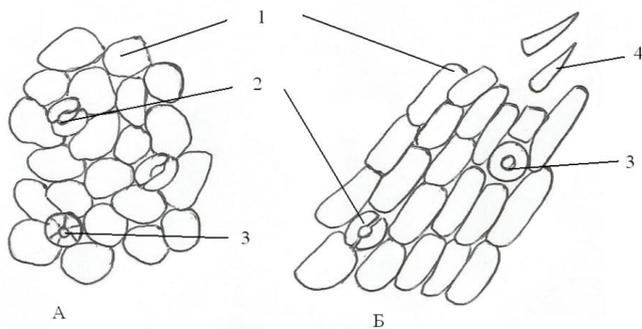
этанольный (1:1), этанольный экстракты *A. tschernieviana* не показывают цитотоксическую активность.

*Анатомическое исследование Artemisia tschernieviana* Besser.

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья (уточнения локализации эфирного масла в надземных органах) *A. tschernieviana*, мы провели изучение его анатомического строения.

При исследовании сухие образцы сырья *A. tschernieviana* размачивали в горячей воде и размягчали в смеси глицерин-спирт-вода дистиллированная в соотношении 1:1:1 [2, 4], 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, 3].

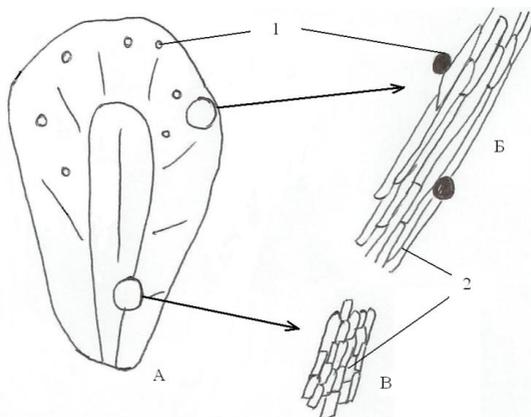
Клетки нижнего эпидермиса округлые, верхнего эпидермиса — прозенхимные, с прямыми стенками (рис. 2). Устьица аномоцитного типа (окружены 4 и более клетками эпидермы) и встречаются преимущественно на нижней стороне листа. Листья с обеих сторон негусто опушены мелкими простыми 1-клеточными трихомами. Эфирно-масличные железки округлой формы, сидят в углублениях эпидермиса.



**Рисунок 2. Препарат листа *A. tschernieviana* с поверхности. Ув. 15x10: А — нижний эпидермис, Б — верхний эпидермис, 1 — основные клетки эпидермы, 2 — устьица, 3 — эфирно-масличные железки, 4 — простые трихомы**

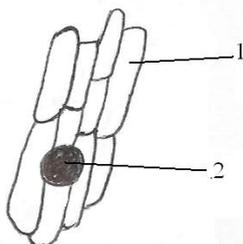
Листочки обертки цветочной корзинки наружные — узко-эллиптические, внутренние — широко-эллиптические. Внутренние

части травянистые, зеленые, наружные — пленчатые (рис. 3). Поверхность пронизана жилками, в верхней части можно отметить эфирно-масличные железки, овальной или округлой формы, приподнимающиеся над поверхностью. Эпидермис травянистой части представлен мелкими клетками изодиаметрической формы; пленчатой части — клетками прозенхимной формы.



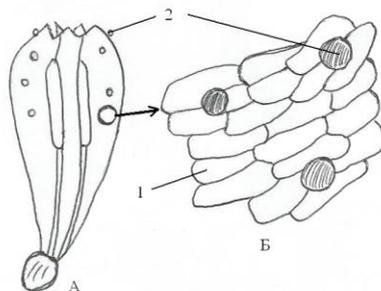
**Рисунок 3. Препарат листочка обвертки *A. tschernieviana* с поверхности. Ув. 15x10: А — листочек обвертки, Б — эпидермис пленчатой части, В — эпидермис травянистой части, 1 — эфирно-масличные железки, 2 — основные клетки эпидермиса**

Аналогичное строение имеет и эпидермис стебля *A. tschernieviana* (рис. 4).

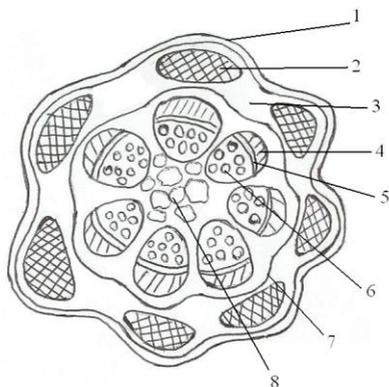


**Рисунок 4. Эпидермис стебля *A. tschernieviana* с поверхности. Ув. 15x10: 1 — основные клетки эпидермы, 2 — эфирно-масличные железки**

Цветок обоеполюй, венчик широко-конический, эпидермис в верхней части покрыт приподнимающимися эфиромасличными железами (рис. 5). Эпидермис состоит из мелких, изодиаметрических клеток с прямыми стенками.



**Рисунок 5. Препарат венчика цветка *A. tschernieviana* с поверхности. Ув. 15x10: А — обоеполюй цветок, Б — участок эпидермиса венчика цветка, 1 — основные клетки эпидермиса, 2 — эфиромасличные железы**



**Рисунок 6. Схема поперечного среза стебля *A. tschernieviana*. Ув. 15x10: 1 — эпидермис, 2 — колленхима, 3 — хлоренхима, 4 — флоэма, 5 — камбий, 6 — ксилема, 7 — эндодерма, 8 — сердцевинная паренхима**

Стебель на поперечном срезе округло-многогранный (рис. 6). Периферическая часть покрыта 1-слойным эпидермисом, под ним в углах находятся участки механической ткани — уголко

колленхимы, остальная часть заполнена многослойной хлоренхимой. Проводящую зону окружает кольцо эндодермы. Проводящая система пучкового типа. Пучки крупные, размещены в форме кольца; коллатерального типа (флоэма снаружи, ксилема внутри), открытые (1-слойный камбий между тяжами ксилемы и флоэмы).

Таким образом, в качестве характерных признаков надземных органов *A. tschernieviana* можно указать форма и строение основных клеток эпидермиса, эфирно-масличных железок и простых кроющих одноклеточных трихом.

### 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. Долгова А.А., Ладыгина Е.Я. Руководство к практическим занятиям по фармакогнозии. М.: Медицина, 1977. — 255 с.
3. Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: КомКнига, 2007. — 512 с
4. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высшая школа, 1960. — 206 с.
5. Флора Казахстана. Под ред. Павлова Н.В., Алма-Ата, 1960. — 454 с.
6. Azar P.A., Tehrani M.S., Hosain S.W., Khalilzadeh M.A., Zанousi M.B.P. Solvent-Free Microwave Extraction of Essential oil of *Artemisia tschernieviana* // *Asian Journal of Chemistry*. — 2012. — Vol. 24, — Issue 11. — P. 5388.
7. Durackova Z., Betina V., Hornikova B., Nemes P. *Zentralbl. Bakteriologie // Abt. II*. — 1977. — № 32. — P. 294.
8. Kazemi M., Dakhili M., Rustaiyan A., Larijani K., Ahmadi M.A., Mozaffarian V. Chemical Composition and Antimicrobial Activity of *Artemisia tschernieviana* Besser from Iran // *Pharmacognosy Res.* — 2009. — № 1. — P. 120—124.
9. Naqinezhad A., Nabavi S.M., Nabavi S.F., Ebrahimzadeh M.A. Antioxidant and antihemolytic activities of flavonoid rich fractions of *Artemisia tschernieviana* Besser // *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. — 2012. — 16(Suppl 3). — P. 88—94.
10. Reiss J. *Zentralbl. Bakteriologie // Hyg. I Abt. Orig.* — 1972. — № 155. — P. 531.
11. Sawant O., Kadam V.J., Ghosh R. In vitro Free Radical Scavenging and Antioxidant Activity of *Adiantum lunulatum* // *Journal of Herbal Medicine and Toxicology*. — 2009. — № 3(2). — P. 39—44.
12. Zанousi M.B.P., Azar P.A. and Raeesi M. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of different organs of three *Artemisia* species from Iran // *Journal of Medicinal Plants Research*. — 2012. — Vol. 6(42). — P. 5489—5494.

## 4.2. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### ТОПОЛОГИЯ КАРБОНИЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИХ АНАЛОГОВ СО СБЛИЖЕННЫМИ ФУНКЦИЯМИ C=X (X = O, NR). СООБЩЕНИЕ 4. ОСНОВЫ ТОПОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННОГО ДИЗАЙНА КООРДИНАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ПОЛИОКСОЛИГАНДАМИ

*Козьминых Владислав Олегович*

*д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой химии Пермского  
государственного гуманитарно-педагогического университета,  
РФ, г. Пермь*

*E-mail: [kvoncstu@yahoo.com](mailto:kvoncstu@yahoo.com)*

### TOPOLOGY OF CARBONYL SYSTEMS AND THEIR ANALOGUES WITH CLOSE C=X (X = O, NR) FUNCTIONS. PART 4. BASIC PRINCIPLES FOR THE TOPOLOGICALLY ORIENTED DESIGN OF COORDINATION SYSTEMS WITH POLYOXO LIGANDS

*Vladislav Kozminykh*

*doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Chemical Section  
of the Perm State Humanitarian Pedagogical University,  
Russia, Perm*

#### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются некоторые химические принципы топологически ориентированного молекулярного скаффолдинга координационных O-хелатных структур металлов(I)-(III) с линейными бидентатными и тетрадентатными карбонильными лигандами на основе 1,2,4-триоксо- и 1,3,4,6-тетраоксо-соединений, которые могут быть использованы в качестве эффективных молекулярных магнетиков.

## ABSTRACT

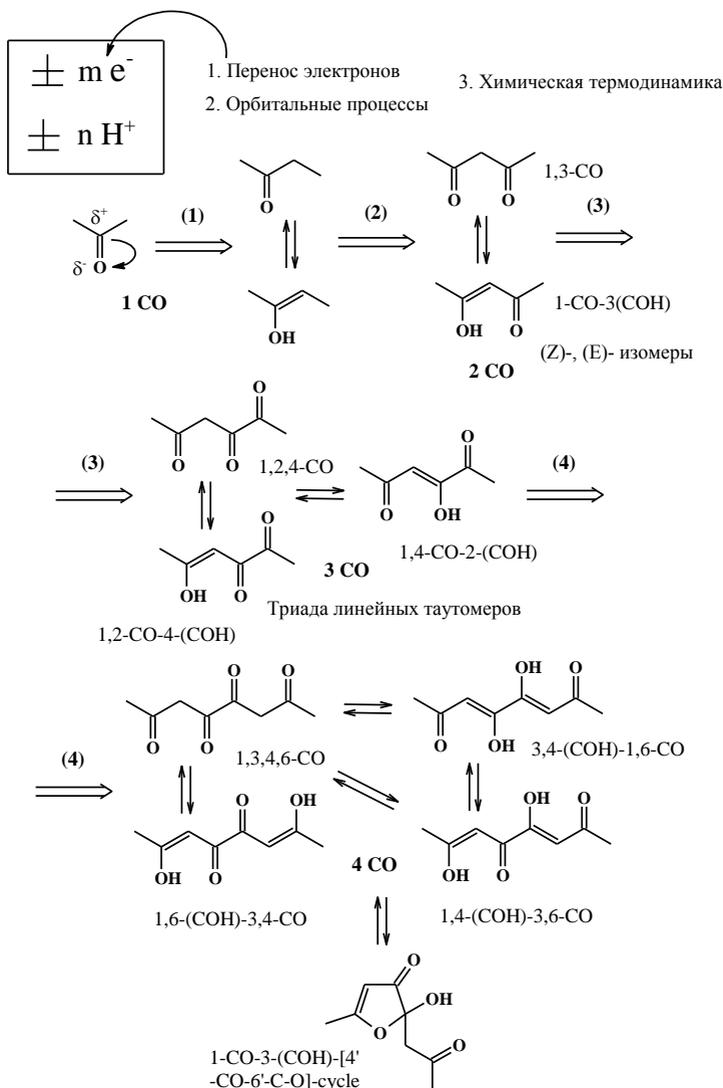
A few topochemical principles for the topologically oriented molecular scaffolding of coordination *O*-chelate metal(I)-(III) complexes with linear bidentate or tetradentate carbonyl ligands based on 1,2,4-trioxo or 1,3,4,6-tetraoxo compounds, which can be used as effective molecular magnets.

**Ключевые слова:** топология карбонильных систем; 1,2,4-триоксо- и 1,3,4,6-тетраоксо-лиганды; координационные *O*-хелатные соединения металлов (I)—(III); молекулярный скаффолдинг.

**Keywords:** carbonyl systems topology; 1,2,4-trioxo- and 1,3,4,6-tetraoxo ligands; coordination *O*-metal (I)—(III) chelates; molecular scaffolding.

В трёх предыдущих статьях серии «Топология карбонильных систем и их аналогов со сближенными функциями  $C=X$  ( $X = O, NR$ )» рассматривались основы топологической классификации и обсуждалось структурное разнообразие линейных и циклических карбонильных систем с тремя сближенными и находящимися в положениях 1, 3, 4 оксогруппами [4—6]. Настоящая работа посвящена обоснованию химических принципов топологически ориентированного конструирования (молекулярного скаффолдинга) *O*-*Met*(I),(II),(III)-координированных хелатных структур с линейными бидентатными и тетрадатными лигандами на основе 1,2,4-трикарбонильных и 1,3,4,6-тетракарбонильных соединений, которые могут быть найдены применение в качестве эффективных молекулярных магнетиков.

Известно, что основой химических явлений является перенос заряда — присоединение электронов  $+e^-$  (восстановление), отдача электронов  $-e^-$  (окисление) или перенос протона  $\pm H^+$ , а также орбитальные превращения в термодинамически контролируемых условиях (рис. 1) [10—12]. Карбонильные соединения являются наиболее подходящим объектом к этим двум основополагающим процессам. Так, в структуре функциональной карбонильной группы отчётливо выражены частичные заряды — положительный на атоме углерода и отрицательный на атоме кислорода. Это способствует протеканию большинства реакций, обусловленных зарядовым контролем. Акцепторные заместители существенно увеличивают поляризацию оксогруппы, что в значительной степени облегчает атаку атома углерода нуклеофильным реагентом в соответствующих реакциях карбонильных соединений с нуклеофилами [10—12].

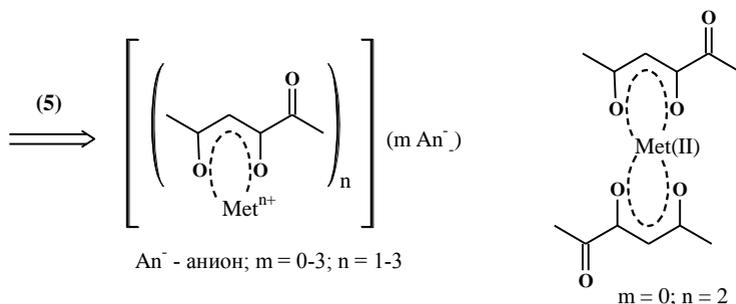


**Рисунок 1. Структурная иерархия и эволюция карбонильных систем, содержащих от 1 до 4 оксо-звеньев. Формирование оксо-систем с максимально сближенными карбонильными функциями как фундамента для топологически ориентированного дизайна координационных соединений с полиоксо-лигандами**

В ряду наиболее простых монокарбонильных соединений (**1 CO**) переход к метилкарбонильным структурам [переход (**1**) на рис. 1] сопровождается переносом (1,3-миграцией) протона и появлением енолов, оксофункционализация которых в условиях перехода (**2**) приводит к 1,3-дикарбонильным системам (**2 CO**) и их моноенолам. Эти системы являются первичной топологической основой для формирования *ОН*-хелатов (из *Z*-изомеров енолов) и их разнообразных *металл*-производных. Третья ступень функционализации — переход (**3**) присоединением ещё одной карбонильной группы — даёт триаду линейных 1,2,4-триоксо-таутомеров (**3 CO**), существенно усложняя карбонильную систему и значительно увеличивая разнообразие химического поведения оксосоединений (рис. 1).

Ещё большее структурное и реакционное своеобразие вносит четвёртая ступень — переход (**4**) к 1,3,4,6-тетракарбонильным соединениям (**4 CO**), у которых впервые появляется кольчато-цепная таутомерия. На рисунке 1 изображены элементы перечисленных карбонильных систем в порядке их структурной иерархии и в эволюционном усложнении. Символами взаимного сочетания карбонильных групп и енольных звеньев кратко представлена их номенклатура. В настоящее время подробно изучаются строение и свойства 1,2,4-трикарбонильных и 1,3,4,6-тетракарбонильных систем, в первую очередь как перспективных лигандов для получения разнообразных координационных соединений металлов [1—3, 7—9].

Общие элементы структурного каркаса и краткий перечень координационных сфер моно- и полиядерных бидентатных координационных систем металлов(I)—(III) на основе 1,2,4-триоксо-лигандов, которые доступны на пятой стадии — переход (**5**), — изображены на рисунке 2. Типичными представителями подобной структуры являются тетракоординированные *бис*-хелаты с ядрами двухвалентных переходных металлов — меди(II), кобальта(II) и никеля(II) [7, 9]. Эти комплексы предполагается использовать в качестве перспективных молекулярных магнетиков благодаря их уникальным ферро- и антиферромагнитным свойствам.



Разнообразие координационных сфер оксопроизводных *металл*-1,3-дикетонатов

$LMet(I)$ ,  $L_2Met(II)$ ,  $L_3Met(II)$ ,  $L_4Met(II)$ ,  $L_3Met(III)$ ,

$L_2Met_2(II)$ ,  $L_2Met_2(III)$ ,  $L_3Met_2(III)$ ,  $L_4Met_3(III)$

**Рисунок 2. Элементы структурного каркаса и разнообразие мономерных и полиядерных бидентатных координационных систем металлов(I),(II),(III) на основе 1,2,4-триоксо-лигандов**

Эволюционное поэтапное усложнение и совершенствование представленных карбонильных систем осуществляется в направлении от монооксо-соединений с геометрическими ограничениями в виде исключительно скелетных конформеров до сложных координационных металлохелатных систем с выраженной топологической составляющей. На промежуточных стадиях осуществляется постепенное нарастание *СО*-функционализации за счёт введения дополнительных карбонильных групп и увеличение структурного разнообразия за счёт новых изомерных форм.

Таким образом, в обобщённом виде представлены некоторые результаты исследований по структуре, разнообразию и химической топологии координационных оксо-систем — *металл*-производных с 1,3,4-трикарбонильными и 1,3,4,6-тетракарбонильными лигандами.

### Список литературы:

1. Карманова О.Г., Козьминых В.О., Муковоз П.П., Козьминых Е.Н. Синтез и структурное разнообразие 1,6-диалкил-3,4-дигидрокси-2,4-гексадиен-1,6-дионон // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. Иваново: Изд-во ИГХТУ, — 2013. — Т. 56. — № 1. — С. 13—16.

2. Кириллова Е.А., Жадяев А.В., Козьминых В.О. Синтез и особенности строения металлохелатных комплексов на основе трикарбонильных соединений // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, октябрь — 2013. — Вып. 10 (159). — С. 139—141.
3. Кириллова Е.А., Муковоз П.П., Виноградов А.Н., Козьминых В.О., Дворская О.Н. Синтез, особенности строения и таутомерия 1,6-дизамещённых 3,4-дигидрокси-2,4-гексадиен-1,6-дионов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. Иваново: Изд-во ИГХТУ, — 2011. — Т. 54. — № 4. — С. 18—22.
4. Козьминых В.О. Топология карбонильных систем и их аналогов со сближенными  $C=X$  ( $X = O, NR$ ) функциями. Сообщение 1. Классификация и номенклатура линейных оксо-систем с тремя карбонильными группами // Universum: Химия и биология. Электронный научный журнал. — 2013. — № 1 (1). — 6 с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/133> (дата обращения 05.12.2013).
5. Козьминых В.О. Топология карбонильных систем и их аналогов со сближенными функциями  $C=X$  ( $X = O, NR$ ). Сообщение 2. Структурное разнообразие оксо-систем с тремя группами  $C=O$  // Universum: Химия и биология. Электронный научный журнал. — 2014. — № 1 (2). — 16 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/837> (дата обращения: 05.01.2014).
6. Козьминых В.О. Топология карбонильных систем и их аналогов со сближенными функциями  $C=X$  ( $X = O, NR$ ). Сообщение 3. Пятичленные гетероциклы с тремя 1,2,4-СО- звеньями // Universum: Химия и биология. Электронный научный журнал. — 2014. — № 2 (3). — 9 с. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/936> (дата обращения: 05.02.2014).
7. Козьминых В.О. Химическая топология и молекулярное конструирование функционализированных гетеро-1,3-диеновых систем и координационных соединений на их основе // Инновации в науке. Сборник статей по материалам XXXI международной науч.-практ. конф., Новосибирск, 31 марта 2014 г. Новосибирск: Изд-во "СибАК", 2014 (в печати).
8. Козьминых В.О., Кириллова Е.А., Виноградов А.Н., Муковоз П.П., Щербakov Ю.В., Мозгунова Е.М., Голоцван А.В., Козьминых Е.Н. Металлопроизводные р-π-электроноизбыточных поликарбонильных систем с сочленёнными α- и β-диоксофрагментами. Сообщение 3. Синтез и строение металло(II)хелатов 4-оксозамещённых эфиров 2-гидрокси-2-алкеновых кислот // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, апрель — 2009. — Вып. 4. — С. 135—149.

9. Козьминых Е.Н., Голуб Е.Е., Селиванов А.В., Рисква Т.В., Козьминых В.О. Новый однореакторный синтез металло(II)хелатов изопропилового эфира 2-гидрокси-4-оксо-4-фенил-2-бутеновой кислоты // Естественные и математические науки в современном мире. Сборник статей по материалам XVI международной науч.-практ. конф., Новосибирск, 5 марта 2014 г. Новосибирск: Изд-во "СибАК", — 2014. — № 3 (15). — С. 195—200.
10. Нейланд О.Я. Органическая химия. М.: Изд-во "Высшая Школа", 1990. — 751 с.
11. Общая органическая химия. Под ред. Д. Бартона и В.Д. Оллиса. Том 2. Кислородсодержащие соединения. Перевод с англ. М.: Изд-во «Химия», 1982. — 856 с.
12. Травень В.Ф. Органическая химия. Том 2. М.: Изд-во «Академкнига», 2006. — 582 с.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

**Научное издание**

**«ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ  
НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ»**

Сборник статей по материалам  
XVII международной научно-практической конференции

№ 4 (16)  
Апрель 2014 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 08.04.14. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8. 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