



# ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

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

№ 3 (15)  
Март 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 XVI междунар. науч.-практ. конф. № 3 (15). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2014. 226 с.**

Учредитель: НП «СибАК»

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

При перепечатке материалов издания ссылка на сборник статей обязательна.

## **Оглавление**

<b>Секция 1. Математика</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление</b>	<b>8</b>
ДОКАЗАТЕЛЬСТВО РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ ТИПА БИЦАДЗЕ-САМАРСКОГО ДЛЯ СМЕШАННОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА Желдашева Анна Олеговна	8
СРАВНЕНИЕ МЕТОДА ЛЯПУНОВА И МЕТОДА ПОЛЯРИЗАЦИИ Карасаев Ишен Карасаевич	16
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ВОЛНЫ Колпак Евгений Петрович Горбунова Екатерина Андреевна Жукова Ирина Валерьевна	25
РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ ЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРА С ЦЕЛЬЮ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПОЛИВЕКТОРНОМ АНАЛИЗЕ Пешкичев Юрий Афанасьевич	42
ХАОТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ Якубовский Евгений Георгиевич	46
<b>Секция 2. Информационные технологии</b>	<b>54</b>
<b>2.1. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами</b>	<b>54</b>
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СРЕДЕ VISSIM Грыжов Владимир Константинович Кузьмин Константин Анатольевич Грыжов Евгений Владимирович	54

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В ТУННЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРУНДОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	60
Грызов Евгений Владимирович Корольков Владимир Гаврилович Реут Владимир Антонович	
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА	67
Корольков Владимир Гаврилович Грызов Владимир Константинович Акшинский Александр Дмитриевич	
ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ОБРАБОТКЕ АНКЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ	73
Кузьмин Константин Анатольевич Грызов Евгений Владимирович	
<b>Секция 3. Физика</b>	<b>80</b>
<b>3.1. Механика деформируемого твердого тела</b>	<b>80</b>
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ИЗГИБА КРУГЛЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН С НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ	80
Кудин Алексей Владимирович	
<b>3.2. Механика жидкости, газа и плазмы</b>	<b>98</b>
ВОЗМОЖНОСТЬ ПониЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАЗМЕННОГО ВИХРЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ	98
Трощев Юрий Витальевич	

<b>Секция 4. Биология</b>	<b>113</b>
<b>4.1. Биологические аспекты сельского хозяйства</b>	<b>113</b>
ПРОБЛЕМА ОПУСТЫНИВАНИЯ АРИДНЫХ ЗОН СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	113
Байдюсен Улан Жетписович Нурмухамбетова Роза Торсановна Кульжанова Салтанат Мукатаевна Ботабекова Гульнара Турсынхановна	
<b>4.2. Ботаника</b>	<b>125</b>
К ФЛОРЕ ХРЕБТА ЛЕС ВНУТРЕННЕГОРНОГО ДАГЕСТАНА	125
Алиева Майя Гаджиевна	
СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ДВУДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ДАГЕСТАНА	130
Касумова Нурият Касумовна	
К ВОПРОСУ О БОЛЕЕ ПОДРОБНОМ ИЗУЧЕНИИ РОДА FESTUCA L. ВО ФЛОРЕ ДАГЕСТАНА	135
Мухумаева Патимат Омардибировна Магомедова Мадина Абдулмаликовна Аджиева Аида Избулаевна Омарова Сарат Омаровна	
РЕЛИКТОВЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ В ПРЕДГОРНОМ ДАГЕСТАНЕ (НА ПРИМЕРЕ НАРАТТЮБИНСКОГО ХРЕБТА)	145
Яровенко Елена Викторовна	
<b>4.3. Зоология</b>	<b>154</b>
РАЗНООБРАЗИЕ БУЛАВОУСЫХ ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (RHOPALOCERA) ОКРЕСТНОСТЕЙ СЕЛА КИРЕЕВСК (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ), ИЮНЬ 2013 Г.	154
Иманкулова Евгения Анатольевна Чынгышбаева Жылдыз Асантурсуновна Лукьянцева Лидия Валентиновна	

ПРЕСНОВОДНЫЕ РАКОВИННЫЕ АМЕБЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ Иманкулова Евгения Анатольевна Лукьянцева Лидия Валентиновна	159
<b>4.4. Почвоведение</b>	<b>164</b>
ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРЬИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОСФАТНОГО РЕЖИМА СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ООО «АГРОФИРМА «ИСКРА» БОГОРОДСКОГО РАЙОНА НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ Нефедьева Вера Владимировна	164
<b>4.5. Экология и природопользование</b>	<b>170</b>
ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТЕЙ ТРЕХ ПОПУЛЯЦИЙ ТИПА «ХИЩНИК-ДВЕ ЖЕРТВЫ» С НЕПЕРЕКРЫВАЮЩИМИСЯ ПОКОЛЕНИЯМИ Аматов Михаил Александрович Аматова Галина Михайловна	170
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ В БЫТУ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ Лыгин Сергей Александрович Нуртдинова Расиля Рафилевна	178
<b>Секция 5. Химия</b>	<b>185</b>
<b>5.1. Неорганическая химия</b>	<b>185</b>
НОВЫЙ НИОБАТ ЛИТИЯ-МАРГАНЦА (II) СО СТРУКТУРОЙ ТИПА NASL Ганноченко Алексей Анатольевич	185
<b>5.2. Органическая химия</b>	<b>190</b>
СИНТЕЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОРТО-(ЦИКЛО)АЛКЕНИЛАРИЛАМИНОВ Кажанова Татьяна Владимировна	190

<p>НОВЫЙ ОДНОРЕАКТОРНЫЙ СИНТЕЗ  МЕТАЛЛО(II)ХЕЛАТОВ ИЗОПРОПИЛОВОГО  ЭФИРА 2-ГИДРОКСИ-4-ОКСО-4-ФЕНИЛ-2-  БУТЕНОВОЙ КИСЛОТЫ  Козьминых Елена Николаевна  Голуб Елена Ефимовна  Селиванов Алексей Валерьевич  Рискова Татьяна Викторовна  Козьминых Владислав Олегович</p>	195
<b>Секция 6. Науки о Земле</b>	<b>201</b>
<b>6.1. Геология и минералогия</b>	<b>201</b>
<p>ДИНАМИКА СВОЙСТВ И ДЕФОРМАЦИЙ  ЛЕССОВЫХ ПОРОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  ТЕХНОГЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ  Садовенко Иван Александрович  Деревягина Наталья Ивановна</p>	201
<b>6.2. Общественная география</b>	<b>208</b>
<p>ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО  РАЗВИТИЯ ГОРОДА ПАВЛОДАР  И ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ  Жакупов Алтынбек  Джаналеева Гульжан  Берденов Жарас</p>	208
<b>6.3. Геоэкология</b>	<b>220</b>
<p>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО  ПОКРОВА СЕМЕЙСКОГО РЕГИОНА  НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  Абдуажитова Асель Муратовна  Липихина Александра Викторовна  Жакупова Шолпан Болатовна</p>	220

## СЕКЦИЯ 1.

### МАТЕМАТИКА

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

#### ДОКАЗАТЕЛЬСТВО РАЗРЕШИМОСТИ ЗАДАЧИ ТИПА БИЦАДЗЕ-САМАРСКОГО ДЛЯ СМЕШАННОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА

*Желдашева Анна Олеговна*

*старший преподаватель кафедры дифференциальных уравнений  
Кабардино-Балкарского государственного университета  
им. Х.М. Бербекова,  
РФ, г. Нальчик*

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

#### PROOF OF THE SOLVABILITY OF THE PROBLEM OF BITSADZE-SAMARA FOR THE MIXED SECOND-ORDER EQUATION

*Zheldasheva Anna Olegovna*

*Senior Lecturer, Department of Differential Equations,  
Kabardino-Balkar State University H.M. Berbekova,  
Russia, Nalchik*

#### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена исследованию однозначной разрешимости краевой задачи со смещением для параболо-гиперболического уравнения второго порядка. Вопрос существования решения задачи



эквивалентно редуцирован к вопросу разрешимости интегрального уравнения Фредгольма, а единственность решения установлена на основе метода интегралов энергии.

### ABSTRACT

The work is devoted to the study of the unique solvability of boundary value problem with the shift to parabolic-hyperbolic equation of the second order. The question of the existence of the problem solutions is reduced to the equivalent of the Fredholm integral equation solvability and the uniqueness of the solution set based on the energy integrals method.

**Ключевые слова:** краевая задача; уравнение смешанного типа; уравнение Фредгольма.

**Keywords:** boundary value problem; the equation of the mixed type; the integral equation; the method of energy integrals.

### Введение

Развитие аналитических методов доказательства разрешимости краевых задач со смещением для уравнений, меняющих свой тип в области задания [1—3], является одной из наиболее важных задач общей теории уравнений в частных производных. Несмотря на ярко выраженный теоретический характер таких работ, результаты исследований нелокальных задач содержащих в своей постановке интегральные операторы, могут найти свое применение и в задачах математического моделирования (например [4, 7]).

### Постановка задачи

Рассмотрим уравнение

$$u_{xx} + \frac{\operatorname{sgn} y - 1}{2} u_{yy} - \frac{\operatorname{sgn} y + 1}{2} [u_y - cu] = 0, \quad (1)$$

в области  $\Omega = \Omega_0 \cup \Omega_1 \cup OA$ , где —  $\Omega_0$  область ограниченная отрезками  $AB$ ,  $BC$ ,  $CO$  и  $OA$  прямых  $x = 1$ ,  $y = 1$ ,  $x = 0$ ,  $y = 0$  соответственно;  $\Omega_1$  — характеристический треугольник ограниченный отрезком  $OA$  оси абсцисс и двумя характеристиками  $AD$ :  $x - y = 1$ ,  $OD$ :  $x + y = 0$  уравнения (1) выходящими из точек  $A$ ,  $O$  и пересекающимися в точке  $D$ ;  $c = c(x, y)$  — заданная функция.

Пусть

$$\tau^\pm(x) = \lim_{y \rightarrow 0^\pm} u(x, y), \quad v^\pm(x) = \lim_{y \rightarrow 0^\pm} u_y(x, y), \quad \theta_0(x) = \frac{x}{2} - i \frac{x}{2}.$$

В области  $\Omega = \Omega_0 \cup \Omega_1 \cup J$ , где  $J = OA$  для уравнения (1) исследована следующая задача.

**Задача S.** Найти регулярное в  $\Omega \setminus J$  решение уравнения (1) из класса  $C(\bar{\Omega} \setminus BC \cup AD)$ , удовлетворяющее условиям:

$$u|_{AB} = \Psi_1(y), \quad (2)$$

$$u|_{CO} = \Psi_2(y), \quad (3)$$

$$u[\theta_0(x)] + \varphi_1(x)u(x, 0) = \varphi_2(x), \quad (4)$$

и условиям сопряжения:

$$\tau^+(x) = \int_0^x \tau^-(t) \alpha(x, t) dt + \beta(x) \tau^-(x) + \gamma(x), \quad (5)$$

$$v^+(x) = \int_0^x v^-(t) \delta(x, t) dt + \varepsilon(x) v^-(x) + \mu(x) \tau^-(x) + \sigma(x).$$

Здесь  $\Psi_{1,2}(y)$ ,  $\varphi_{1,2}(x)$ ,  $\alpha(x, t)$ ,  $\beta(x)$ ,  $\gamma(x)$ ,  $\delta(x, t)$ ,  $\varepsilon(x)$ ,  $\mu(x)$  — заданные, достаточно гладкие функции, причем  $\varphi_1(x)[2\varphi_1(x) + 1][\varphi_1(0) + 1] \neq 0$ ,  $\alpha(x, t)\delta(x, t) \neq 0$  и выпол-

нено условие согласования:  $\Psi_2(0) = \frac{\beta(0)\varphi_2(0)}{\varphi_1(0) + 1} + \gamma(0)$ .

**Доказательство существования решения задачи S**

Аналогично [5, 6], получим соотношение между  $\tau^-(x)$  и  $v^-(x)$ , принесенное на отрезок  $AO$  из гиперболической части  $\Omega_1$

смешанной области  $\Omega$ , на основе решения соответствующей задачи Коши [8]:

$$u(x, y) = \frac{\tau(x+y) + \tau(x-y)}{2} + \frac{1}{2} \int_{x-y}^{x+y} v(t) dt. \quad (6)$$

В самом деле, удовлетворяя (6) условию (4), будем иметь

$$\frac{\tau^-(0) + \tau^-(x)}{2} + \frac{1}{2} \int_x^0 v^-(t) dt + \varphi_1(x) \tau^-(x) = \varphi_2(x)$$

Или

$$\left[ 2\varphi_1(x) + 1 \right] \tau^-(x) + \int_x^0 v^-(t) dt = 2\varphi_2(x) - \tau^-(0).$$

Таким образом, соотношение, связывающее  $\tau^-(x)$ ,  $v^-(x)$  и принесенное из гиперболической части смешанной области  $\Omega$  представимо в виде:

$$\tau^-(x) - P_1(x) \int_0^x v^-(t) dt = P_2(x), \quad (7)$$

где

$$P_1(x) = \frac{1}{2\varphi_1(x) + 1}, \quad P_2(x) = \frac{2\varphi_2(x) - \tau^-(0)}{2\varphi_1(x) + 1}, \quad \tau^-(0) = \frac{\varphi_2(0)}{\varphi_1(0) + 1}.$$

С другой стороны, переходя к пределу при  $y \rightarrow 0+$  в уравнении (1) в области  $\Omega_0$ , будем иметь

$$T_+ \tau^+(x) = v^+(x). \quad (8)$$

Здесь  $T_+ = \frac{d^2}{dt^2} + c(x, 0)$  — дифференциальный оператор.

Введем новые неизвестные функции:

$$\begin{aligned}\mathfrak{Z}(x) &= \tau^+(x) - [\tau^+(1) - \tau^+(0)]x - \tau^+(0), \\ V(x) &= v^+(x) - c(x, 0) \left\{ [\tau^+(1) - \tau^+(0)]x + \tau^+(0) \right\},\end{aligned}$$

где

$$\tau^+(0) = \psi_2(0), \quad \tau^+(1) = \psi_1(0).$$

С учетом введенных обозначений и принимая во внимание (8), будем иметь:

$$T_+ \mathfrak{Z}(x) = V(x), \quad \mathfrak{Z}(0) = \mathfrak{Z}(1) = 0. \quad (9)$$

Пусть  $G(x, t)$  — функция Грина оператора  $T_+$  с областью определения

$$D(T_+) = \{ \mathfrak{Z}(x) \in C^2(J) \cap C(\bar{J}), \mathfrak{Z}(0) = \mathfrak{Z}(1) = 0 \}.$$

Тогда решение задачи (9) можно записать в виде

$$\tau^+(x) = \int_0^1 G(x, t) v^+(t) dt + P_3(x), \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned}P_3(x) &= [\tau^+(1) - \tau^+(0)]x + \tau^+(0) - \\ &- \int_0^1 G(x, t) c(t, 0) \left\{ [\tau^+(1) - \tau^+(0)]t + \tau^+(0) \right\} dt.\end{aligned}$$

Соотношение (10) совместно с ранее полученным равенством (7) и условиями (5) образуют систему интегро-функциональных уравнений относительно неизвестных  $\tau^{\pm}(x)$  и  $v^{\pm}(x)$ .

Подставляя (7) последовательно в каждое из соотношений (5), в результате ряда элементарных преобразований, получим:

$$\tau^+(x) = \int_0^x v^-(t) P_4(x, t) dt + P_5(x), \quad (11)$$

$$v^+(x) = \int_0^x v^-(t) P_6(x, t) dt + \varepsilon(x) v^-(x) + P_7(x), \quad (12)$$

где

$$P_4(x, t) = \beta(x) P_1(x) + \int_t^x \alpha(x, \xi) P_1(\xi) d\xi,$$

$$P_5(x) = \int_0^x \alpha(x, t) P_2(t) dt + \beta(x) P_2(x) + \gamma(x),$$

$$P_6(x, t) = \mu(x) P_1(x) + \delta(x, t), \quad P_7(x) = \mu(x) P_2(x) + \sigma(x).$$

Из (10), с учетом (11) и (12), будем иметь

$$\begin{aligned} & \int_0^x v^-(t) P_4(x, t) dt + P_5(x) = \\ & = \int_0^1 G(x, t) \left[ \int_0^t v^-(\xi) P_6(t, \xi) d\xi + \varepsilon(t) v^-(t) + P_7(t) \right] dt + P_3(x) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \int_0^x v^-(t) P_4(x, t) dt &= \int_0^1 G(x, t) \left[ \int_0^t v^-(\xi) P_6(t, \xi) d\xi \right] dt + \\ &+ \int_0^1 \varepsilon(t) v^-(t) G(x, t) dt + P_8(x), \end{aligned} \quad (13)$$

где  $P_8(x) = \int_0^1 G(x,t)P_7(t)dt + P_3(x) - P_5(x)$ .

Перепишем (13) в виде:

$$\int_0^x v^-(t)P_4(x,t)dt - \int_0^1 v^-(t) \left[ \varepsilon(t)G(x,t) + \int_t^1 G(x,\xi)P_6(\xi,t)d\xi \right] dt = P_8(x)$$

Таким образом, вопрос разрешимости задачи S эквивалентно редуцирован к вопросу разрешимости интегрального уравнения Фредгольма 1-го рода:

$$\int_0^1 v^-(t)K(x,t)dt = \Phi(x),$$

где

$$K(x,t) = \begin{cases} K_1(x,t) + K_2(x,t), & 0 < t \leq x, \\ K_2(x,t), & x < t \leq 1, \end{cases}$$

$$K_1(x) = \frac{\beta(x)}{2\varphi_1(x)+1} + \int_t^x \frac{\alpha(x,\xi)}{2\varphi_1(\xi)+1} d\xi,$$

$$K_2(x,t) = - \left[ \varepsilon(t)G(x,t) + \int_t^1 G(x,\xi) \left\{ \frac{\mu(\xi)}{2\varphi_1(\xi)+1} + \delta(\xi,t) \right\} d\xi \right],$$

$$\Phi(x) = \int_0^1 G(x,t) \left\{ \mu(t) \frac{2\varphi_2(t)[\varphi_1(0)+1] - \varphi_2(0)}{[2\varphi_1(t)+1][\varphi_1(0)+1]} + \sigma(t) \right\} dt +$$

$$+ [\psi_1(0) - \psi_2(0)]x +$$

$$+ \psi_2(0) - \int_0^1 G(x,t)c(t,0) \{ [\psi_1(0) - \psi_2(0)]t + \psi_2(0) \} dt +$$

$$\begin{aligned}
& + \int_0^x \alpha(x, t) \frac{\varphi_2(0) - 2\varphi_2(t)[\varphi_1(0) + 1]}{[2\varphi_1(t) + 1][\varphi_1(0) + 1]} dt + \\
& + \beta(x) \frac{\varphi_2(0) - 2\varphi_2(x)[\varphi_1(0) + 1]}{[2\varphi_1(x) + 1][\varphi_1(0) + 1]} - \gamma(x).
\end{aligned}$$

### Список литературы:

1. Бжихатлов Х.Г. О нелокальных краевых задачах для квазилинейного уравнения с вырождением порядка и типа // Владикавказский математический журнал. — 2003. — Т. 5. — № 4. — С. 26—31.
2. Елеев В.А., Балкизова А.Х. Об одной нелокальной внутреннекраевой задаче для уравнения третьего порядка с разрывными условиями сопряжения // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, — 2011. — № 62. — С. 22—33.
3. Ивашкина Г.А. Об одной краевой задаче со смещением для уравнения смешанного эллиптико-гиперболического типа // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2010. — № 9 (115). — С. 35—39.
4. Лесев В.Н. Математические методы в исследовании статики и кинетики капиллярных поверхностей. Нальчик: Принт-Центр, 2011. — 162 с.
5. Лесев В.Н., Желдашева А.О. Нелокальная краевая задача для уравнения смешанного типа второго порядка в характеристической области // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, — 2012. — № 3 (106). — С. 52—56.
6. Лесев В.Н., Желдашева А.О. Об одной краевой задаче для смешанного уравнения с разрывными условиями сопряжения // Известия смоленского государственного университета. — 2012. — № 3 (19). — С. 392—399.
7. Лесев В.Н., Созаев В.А. О новом методе обработки экспериментальных данных для малых капель расплавов // Известия КБГУ. — 2011. — Т. 1. — № 1. — С. 3—8.
8. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. — 736 с.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДА ЛЯПУНОВА И МЕТОДА ПОЛЯРИЗАЦИИ

*Карасаев Ишен Карасаевич*

*канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры информатики  
и математики БГУ им. К. Карасаева,  
Республика Киргизия, г. Бишкек  
E-mail: [Ishen.karasaev@gmail.com](mailto:Ishen.karasaev@gmail.com)*

## COMPARISON OF LYAPUNOV'S METHOD AND THE METHOD OF POLARIZATION

*Ishen Karasaev*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of the Department of Informatics and Mathematics,  
Bishkek Humanities University named after K. Karasev,  
Kyrgyz Republic, Bishkek*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается эффективность метода поляризации при исследовании нестационарных динамических систем. Привлекаются новые терминологии, не встречающиеся в теории устойчивости, в теории показателей Ляпунова, в частности.

### ABSTRACT

The article considers efficiency of the method of polarization when studying nonstationary dynamical systems. New terminologies are used, which do not encounter in the stability theory, namely in Lyapunov's theory.

**Ключевые слова:** носитель поляризации; условия поляризации; поляризующий множитель (матрица; деполяризующий множитель; разрешающее уравнение; устранение носителей поляризации.

**Keywords:** polarization support; polarization environment; polarizing factor; matrix; depolarizing factor; resolvent equation; smoothing of polarization supports.

### *Метод Ляпунова*

Рассматривается устойчивость тривиального решения уравнения Хилла частного вида [1]



$$\ddot{y} + p(t)y = 0 \quad (p(t+T) = p(t) \geq 0), \quad (1)$$

$(p(t))$  — вещественная непрерывная периодическая функция, предполагаемая неотрицательной), краткое изложение существа метода в данных работах дано [1]. В основе метода лежит характеристическая постоянная, которая определяется фундаментальной системой, которая неизвестна.

Изложим кратко существо метода Ляпунова. Обозначим, следуя Ляпунову, через  $f(t)$  и  $\varphi(t)$  вещественные решения уравнения (1) с начальными условиями

$$f(0) = 1, \quad f'(0) = 0, \quad \varphi(0) = 0, \quad \varphi'(0) = 1. \quad (1a)$$

Тогда характеристическое уравнение

$$\det [X(T) - \rho I_2] = \begin{vmatrix} f(T) - \rho & \varphi(T) \\ f'(T) & \varphi'(T) - \rho \end{vmatrix}.$$

В развернутом виде

$$\rho^2 - 2A\rho + 1 = 0. \quad (2)$$

Постоянная

$$A = \frac{1}{2} [f'(T) + \varphi'(T)] \quad (3)$$

названа Ляпуновым характеристической постоянной уравнения (1). Корни характеристического уравнения (мультипликаторы уравнения (1)) суть

$$\rho_{1,2} = A \mp \sqrt{A^2 - 1}.$$

Неравенство  $A^2 < 1$  и есть необходимое и достаточное условие устойчивости тривиального решения данного уравнения. Этот метод

не может быть эффективным, ибо фундаментальная система уравнения Хилла неизвестна.

Далее, рассматривается частный вид уравнения Хилла

$$\frac{\hat{a}^2 x}{dt^2} + p(t) \cdot x = 0, p(t) \geq -a^2 \quad (4)$$

где  $p(t)$  вещественная интегрируемая на  $(0, T)$ , непрерывная, периодическая функция с периодом  $T$ . Рассматриваются следующие интегралы

$$A_0 = chat, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{1}{2a} \int_0^T sha(T-t_1) [p(t_1) + a^2] chat_1 dt_1 \\ &+ \frac{1}{2a} \int_0^{\hat{A}} \frac{1}{2a} cha(T-t_1) [p(t_1) + a^2] shat_1 dt_1 = \\ &= \frac{1}{2a} shaT \int [p(t) + a^2] dt, \end{aligned}$$

$$A_2 = \frac{1}{2a^2} \int_0^T dt_1 \int_0^{t_1} sha(T-t_1+t_2) sha(t_1-t_2) r_1 r_2 dt_2, )$$

.....

$$A_\delta =$$

$$\frac{1}{2n} \int_0^T dt_1 \int_0^{t_1} dt_2 \dots \int_0^{t_{n-1}} sha(T-t_1+t_2) sha(t_1-t_2) \dots sha(t_{n-1}-t_n) r_1 \dots r_n dt_n$$

(n=3,4,...) (6)

**ТЕОРЕМА 1.** Пусть постоянные  $\hat{A}^{(n)}$  определяются формулами

$$\hat{A}^{(n)} = A_0 - A_1 + A_2 - \dots + (-1)^n A_n \quad (n=1,2,\dots), \quad (7)$$

где  $\dot{A}_0, \dot{A}_1, \dot{A}_2, \dots$  даны формулами (5)—(6). Каждое из следующих условий

Устойчивость Неустойчивость

$$\left. \begin{array}{l}
 -1 \leq \dot{A}^{(1)} \quad \text{è} \quad \dot{A}^{(2)} \leq 1 \quad \dot{A}^{(1)} \geq 1, \\
 -1 \leq \dot{A}^{(3)} \quad \text{è} \quad \dot{A}^{(2)} \leq 1 \quad \dot{A}^{(2)} \leq -1 \\
 -1 \leq \dot{A}^{(3)} \quad \text{è} \quad \dot{A}^{(4)} \leq 1 \quad \dot{A}^{(3)} \geq 1, \\
 -1 \leq \dot{A}^{(5)} \quad \text{è} \quad \dot{A}^{(4)} \leq 1 \quad \dot{A}^{(4)} \leq -1, \\
 \dots\dots\dots
 \end{array} \right\} \quad (8)$$

является достаточным условием устойчивости тривиального решения уравнения (1).

Если уравнение (4) не имеет  $T$ -периодических или  $T$ -антипериодических решений, то начиная с некоторого номера будет выполняться указанные условия устойчивости или неустойчивости тривиального решения уравнения (4).

Итак, окончательно, если исключить особый случай  $|\dot{A}| = 1$ , то, вычисляя последовательно коэффициенты  $\dot{A}_n$  по формулам (7), (8), а затем  $A^{(n)}$  по формуле (8), мы установим через конечное число шагов, что выполнено одно из условий (8). через конечное число шагов будет установлен факт устойчивости или неустойчивости тривиального решения уравнения (4).

Описанный метод установления устойчивости или неустойчивости тривиального решения уравнения (4) с помощью условий (1а) и называется методом Ляпунова.

Здесь, во-первых, утверждение, что “через конечное число шагов” расплывчато, во-вторых, характеристическая функция определяется через неизвестную фундаментальную систему, в-третьих, ничего неизвестно о том номере, с какого номера может выполняться устойчивость или неустойчивость решений. Этот

метод также называется методом Ляпунова. Метод развит для частного случая уравнения Хиллала.

### III. Метод поляризации

В работах [2,3,4] разработан новый метод исследования свободных колебаний нестационарных динамических систем, описываемых линейными дифференциальными уравнениями с периодическими коэффициентами.

В дальнейшем, этот метод будем называть *методом поляризации*.

Здесь мы приводим примеры, которые не могут быть решены методом Ляпунова

Задача 1.

$$\ddot{x} + \cos t \cdot x = 0. \quad (1)$$

$$\cos t = \dots + 0 \cdot e^{-2it} + \frac{1}{2} e^{-it} + 0 \cdot e^{0it} + \frac{1}{2} e^{it} + 0 \cdot e^{2it} + \dots$$

$$a_0 = 0, a_{-1} = \frac{1}{2}, a_1 = \frac{1}{2}, d(0) = 2a_{-1}a_1 = 0.5,$$

В равенстве  $d(0) = a_0 + 2a_{-1}a_1$ ,  $a_0 = 0$ . так что в

$$a_0 = 0, a_{-1} = \frac{1}{2}, a_1 = \frac{1}{2}, d(0) = 2a_{-1}a_1 = 0.5,$$

$$2\pi^2 a_{-1}a_1 = 4,934802201 > 1,$$

Поэтому вычисляя показатели Ляпунова по формуле

$$\lambda = \frac{1}{\pi} \ln \left( \sqrt{2\pi^2 a_{-1}a_1} - \sqrt{2\pi^2 a_{-1}a_1 - 1} \right) = -0,4571859883 \quad \text{—}$$

младший показатель

$\Lambda = 0.4571859883$  — старший показатель

Задача 2. Для уравнения

$$\ddot{x} + \sin t \cdot x = 0 \quad (2)$$

можно получить те же самые результаты.

В работе [5] А.Ф. Филиппов рассматривая систему 2-х уравнений, в качестве примера берет (2) и, для старшего показателя Ляпунова

$$|\Lambda| < 0.477.$$

Он предполагает, что «точное значение  $\Lambda$  около 0.442». Вычисление производилось в конечномерном пространстве и ограничивалось оценкой старшего показателя.

Таким образом, из вышеизложенного следует

**ТЕОРЕМА 2.** Тривиальные решения уравнений (1) и (2) неустойчивы.

Задача 3. Доказать, что уравнения

$$\ddot{x} + \sin^3 t \cdot x = 0, \quad (4)$$

$$\ddot{x} + \cos^3 t \cdot x = 0. \quad (5)$$

имеют одни и те же показатели.

В самом деле, имеем

$$\begin{aligned} \sin^3 t &= \\ \left( \frac{e^{it} - e^{-it}}{2i} \right)^3 &= -\frac{1}{8i} (-e^{-3it} + e^{it})^3 = \frac{1}{8i} (-e^{3it} - 3e^{it} - 3e^{-it} + e^{3it}), \\ a_{-1} &= \frac{3}{8i}, \quad a_1 = -\frac{3}{8i} \quad \text{и} \quad d(0) = 2a_{-1}a_1 = \frac{18}{64} = 0,28125 \end{aligned}$$

убедимся, что  $2\pi^2 a_{-1}a_1 = 2,775826238 > 1$ . Поэтому вычислим  $\lambda$  по формуле,

$$\lambda = \left[ \frac{1}{\pi} \ln(\sqrt{2\pi^2 a_{-1}a_1} - \sqrt{2\pi^2 a_{-1}a_1 - 1}) \right],$$

где  $d(0) = 2\pi^2 a_{-1}a_1 = 0,28125$ .

Отсюда для старшего показателя

$$\Lambda = 0.3495593209.$$

Задача 4. Найти значение бесконечного определителя соответствующего уравнению

$$\begin{aligned} \ddot{x} + \cos^{2n} t \cdot x &= 0. \\ \cos^{2ni} t &= e^{(2n)it} + (2n)e^{(2n-1)it} \cdot e^{-it} + \frac{(2n)(2n-1)}{2!} \cdot e^{(2n-2)it} \cdot e^{-2it} + \\ &+ \frac{(2n)(2n-1)(2n-2)}{3!} e^{(2n-3)it} \cdot e^{-3it} + \dots + \\ &+ \frac{(2n)(2n-1)(2n-2)(2n-3)\dots n}{n!} e^{(n-1)it} \cdot e^{-nit} + \\ &+ \dots + \frac{(2n)(2n-1)(2n-2)(2n-3)\dots n \dots 2 \cdot 1}{(2n)!} e^{(-2n)it}, \end{aligned}$$

где

$$a_0 = - \frac{(2n)(2n-1)(2n-2)(2n-3)\dots(n-1)}{n!}, a_{-1} = a_1 = 0,$$

т. к. данное разложение не содержит нечетных степеней экспоненты.

Следовательно, имеем

$$d(0) = \pi^2 (a_0 + 2a_{-1}a_1).$$

Аналогично, для уравнения

$$\ddot{x} + \sin^{2n+1} t \cdot x = 0$$

$$\begin{aligned} \sin^{2n+1} t = & \frac{(-1^n)}{2^n i} \left( e^{(2n+1)it} + (2n+1)e^{2nit} e^{-it} + \right. \\ & + \frac{(2n+1)(2n)}{2!} e^{(2n-1)it} e^{-2it} + \dots + \\ & + \frac{(2n+1)(2n)(2n-1)}{3!} e^{(2n-2)it} e^{3it} + \dots + \\ & \left. + \frac{(2n+1)(2n)(2n-1)\dots(2)}{n!} e^{-(2n+1)it} \right), \end{aligned}$$

Как видим, показатели уравнений (4),(5) совпадают. Легко заметить, что их неустойчивости обусловлены неустойчивостями (1) и (2). Следует отметить, что в настоящее время существующие методы, не смогут вычислять показателей Ляпунова для уравнений (1)-(5).

Здесь метод Ляпунова без силён. Для удобства сравнения двух методов, метода Ляпунова и метода поляризации, мы здесь приводим ранее полученные результаты (теорема 3.7.1, следствие 3.4.1).

**ТЕОРЕМА 3.** Если [2], [3], [4]

если

$$\pi^2(a_0 + a_{-1}a_1) > 1,$$

То

$$x_1(t) = e^{\mu_1 t} z_1(t),$$

$$\mu_1 = \frac{1}{\pi} \ln \left( \sqrt{\pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1)} - \sqrt{\pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1) - 1} \right) - \frac{i}{2}$$

$$x_2(t) = e^{\mu_2 t} z_2$$

$$\mu_2 = \frac{1}{\pi} \ln \left( \sqrt{\pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1)} + \sqrt{\pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1) - 1} \right) - \frac{i}{2},$$

$$z_1(t) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} A_k^q(\mu_1) e^{iqt}, \quad z_2(t) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} A_k^q(\mu_2) e^{iqt} \text{ — периодические}$$

функции,

образуют фундаментальную систему.

**ТЕОРЕМА 4.** Если

$$\pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1) < 0, a_0 \neq 0,$$

то система функций

$$x_1(t) = e^{\mu_1 t} \sum_{q=-\infty}^{\infty} A_1^q(\mu) e^{iqt},$$

$$\mu_1 = \lambda_1 = \frac{1}{\pi} \ln(\sqrt{1 - \pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1)} + \sqrt{-\pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1)});$$

$$x_2(t) = e^{\mu_2 t} \sum_{q=-\infty}^{\infty} A_1^q(\mu_2) e^{iqt},$$

$$\mu_2 = \lambda_2 = \frac{1}{\pi} \ln(-\sqrt{1 - \pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1)} + \sqrt{-\pi^2(a_0 + 2a_{-1}a_1)})$$

образуют фундаментальную систему, где

$$z_1(t) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} A_1(\mu_1) e^{iqt}, \quad z_2(t) = \sum_{q=-\infty}^{\infty} A_1(\mu_2) e^{iqt} \quad \text{— есть периоди-}$$

ческие функции.

Все встречающиеся здесь ряды представляют собой абсолютно сходящиеся ряды миноров  $k$ -ой строки нормальной матрицы, где хотя бы один минор отличен от нуля; если таких строк много, то в качестве  $k$  можно взять любую из них, причем каждый минор есть нормальный определитель декремента 1.

Заметим, что метод Ляпунова для уравнения (4) допускает существование непериодических и антипериодических решений, тогда как метод поляризации устанавливает, что уравнение Хилла с периодическим коэффициентом всегда имеет периодическое решение [3].

### Список литературы:

1. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М.: Наука, 1972. — 718 с.



2. Карасаев И.К. Построение характеристического уравнения //ВЕСТНИК Кыргызско-Российского Славянского университета — 2010. — Том 10, — № 9. — С. 115—122.
3. Карасаев И.К. Построение фундаментальной системы уравнения Хилла// ВЕСТНИК Кыргызско-Российского Славянского университета — 2010. — том 10, — № 9. — С. 115—122.
4. Карасаев И.К. Об одном методе исследования уравнения Хилла //Дифференц. уравнения, — 2010, — том 46, — № 11, — 1 с.
5. Филиппов А.Ф. О свойствах решений линейной системы с квазипериодическими коэффициентами // Математ. заметки. — 1990. — т. 47, — вып. 2. — С. 124—129.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОПУЛЯЦИОННОЙ ВОЛНЫ**

***Колпак Евгений Петрович***

*д-р физ.-мат. наук, профессор  
Санкт-Петербургского государственного университета,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [retrovich\\_ptpu@mail.ru](mailto:retrovich_ptpu@mail.ru)*

***Горбунова Екатерина Андреевна***

*аспирант Санкт-Петербургского государственного университета,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [katzah428@mail.ru](mailto:katzah428@mail.ru)*

***Жукова Ирина Валерьевна***

*аспирант Санкт-Петербургского государственного университета,  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [zhira428@mail.ru](mailto:zhira428@mail.ru)*

# MATHEMATICAL MODEL OF POPULATION WAVES

*Eugeniy Kolnak*

*doctor of Physics and Mathematics, professor  
of St. Petersburg State University,  
Russia, St. Petersburg*

*Catherine Gorbunova*

*post-graduate student of St. Petersburg State University,  
Russia, St. Petersburg*

*Irina Zhukova*

*post-graduate student of St. Petersburg State University,  
Russia, St. Petersburg*

## АННОТАЦИЯ

Для нелинейного уравнения диффузии, описывающего распространение одиночной популяции на прямой, найдены условия, при которых уравнение может иметь автоволновые решения на бесконечной и полуограниченных прямых. Разработан алгоритм численного построения таких решений, реализованный при построении численного решения конкретных задач.

## ABSTRACT

For a nonlinear diffusion equation describing the propagation of a single population at the direct, conditions are found under which the equation may have autowave solution of the infinite and semi bounded direct. The algorithm of the numerical constructing of such series, implemented with the construction of the numerical solution of specific tasks.

**Ключевые слова:** математическое моделирование; дифференциальные уравнения.

**Keywords:** mathematical modeling; differential equations.

Первые теоретически обоснованные подходы, используемые при разработке математических моделей взаимодействующих популяций, стали интенсивно разрабатываться в первой половине XX века. В работах Вольтера модели динамики взаимодействующих популяций, представлены задачами Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений [1, 3, 5, 12, 22, 23]. Эти модели предполагают, что свойства среды и плотность популяции не зависят от пространственных координат. Реальные популяции существуют на ограниченных

территориях и в ограниченных пространственных объемах с различными свойствами среды в разных ее частях. Распространение их по территории происходит, как правило, от мест с большей концентрацией особей в места с меньшей их концентрацией [6, 10, 24, 25, 35, 41]. Процесс распространения популяции на территории рассматривается, как правило, как случайное индивидуальное или групповое перемещение особей. Математические модели в этом случае разрабатываются на основе аппарата уравнений в частных производных [4, 7, 9, 19, 20, 21, 34, 36, 40, 42, 44, 47, 48—50].

Математическая модель процесса рождения и гибели особей в изолированной популяции на неограниченном трофическом ресурсе в большинстве исследовательских работ представлена начально-краевой задачей для нелинейного дифференциального уравнения в частных производных, которое может иметь неединственное решение [9]. Для случая бесконечной прямой могут существовать и решения типа «бегущая волна» (автоволна), существование которых впервые было доказано в [19]. В работе рассматривается модель одиночной обобщенной популяции, в которой учитывается нелинейность «диффузии» особей и нелинейность скорости их перемещения по территории. Найдены необходимые условия существования решения типа «бегущая волна», предлагается алгоритм построения такого решения.

Математическая модель обобщенной логистической популяции с ограниченным ростом ее численности была предложена в [36]. Динамика численности такой популяции описывается обыкновенным дифференциальным уравнением

$$\frac{du}{dt} = f(u) \quad (1)$$

где непрерывная и дважды дифференцируемая функция  $f(u)$  удовлетворяет следующим условиям:

$$\begin{aligned} f(0) = f(K) = 0 \quad (0 < K < +\infty), \\ f'(0) = \mu > 0 \text{ и } f'(K) = \mu > 0, \\ f''(0) \leq 0 \text{ для } u > 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Функция  $f(u)$  называется локальной скоростью роста популяции,  $\mu$  — мультизиготическим параметром,  $K$  — емкостью среды [1, 3, 34, 36].

Условие  $f(0) = 0$  естественное, поскольку в отсутствие особей популяция возникнуть не может, условие  $0 < f'(0)$  обеспечивает рост возникшей популяции, а условие  $f(K) = 0$  — ограниченность численности популяции сверху. Стационарная точка  $u = 0$  является неустойчивой, а точка  $u = K$  — устойчивой. Поэтому все решения уравнения (1) при выполнении условий (2) будут монотонно возрастающими на промежутке  $[0, K]$ , выходя из точки  $u(t=0) = u_0$  и стремиться к значению  $u = K$  при  $t \rightarrow \infty$ . В дальнейшем за единицу измерения численности популяции принимается емкость среды, т. е.  $K = 1$ . Примерами моделей обобщенной логистической популяции являются логистическая —  $f(u) = \mu u(1 - u)$ , Розенцвейга —  $f(u) = \mu u(1 - u^\gamma)$ .

В природе в качестве примеров протяженных в одном направлении ареалов, в которых живут различные виды флоры и фауны, могут служить обочины полей и дорог, трубопроводы, реки и т. п. [6, 10, 24, 25, 35, 41]. В модели этот тип распространения популяции можно рассматривать как распространение популяции вдоль прямой. В этом случае процесс распространения особей можно описать эволюционным уравнением [34, 36, 40, 47]

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(u) \quad (3)$$

где:  $x$  — декартова координата,

$D$  — параметр, характеризующий подвижность особей, а функция  $f(u)$  соответствует локальной скорости изменения численности популяции.

Для случая отрезка конечной длины к уравнению (3) добавляются граничные условия. Для случая бесконечной прямой это уравнение может иметь автоволновое решение [19, 36, 42, 47] —  $u = u(x + vt)$  ( $v$  — скорость распространения волны). Задача о существовании популяционной волны для одиночной популяции на бесконечной прямой решалась в [19, 34, 36, 40, 42, 47, 50]. В этих работах построено

численное решение для уравнения Колмогорова-Пискунова [19] без описания алгоритма его построения. Оценка скорости, с которой волна может двигаться, была дана в работах [19, 36, 47]. Решение уравнения (3) на бесконечной прямой для обобщенной логистической популяции ищется в виде  $u = u(x + vt)$ . При этом оно должно удовлетворять условиям

$$u(-\infty) = 0, \quad u(\infty) = 1. \quad (4)$$

Такое решение уравнения (3) может существовать, в том случае, если выполняется неравенство [36]

$$v > 2 \sqrt{D^{-1} \left. \frac{df}{du} \right|_{u=0}}.$$

Распространение особей на территории не всегда можно рассматривать как случайное блуждание, описываемого в первом приближении уравнением (3). Можно выделить такие механизмы распространения как вытеснение с территории особей низкого социального ранга и расселение особей чувствительных к росту плотности популяции и стремящих занимать участки с минимальной плотностью [6, 10, 24, 25, 35, 41]. Эти два механизма предлагается учесть в модели, представленной дифференциальным уравнением Бюргерса

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D(u) \frac{\partial u}{\partial x} \right) - bu \frac{\partial u}{\partial x} + f(u). \quad (5)$$

В этом уравнении введением функции  $D = D(u)$  учитывается зависимость подвижности особей от локальной плотности популяции (механизм вытеснения особей). Слагаемое  $bu \frac{\partial u}{\partial x}$  учитывает «нелинейность» направленного ухода особей с занимаемой территории (самостоятельный уход особей с постоянных участков обитания).

Как следует из экспериментальных данных [10, 25, 41, 47] подвижность особей увеличивается с ростом плотности популяции. Поэтому функция  $D = D(u)$  должна быть положительной

и возрастающей функцией своего аргумента. В работах Д. Марри [47] предлагается считать  $D(u) = D_0 u^\alpha$ , где  $D_0$  и  $\alpha$  — положительные параметры, характеризующие подвижность особей. Однако, как следует из анализа экспериментальных данных [10, 25, 41], процесс распространения особей на территории начинается сразу после начала размножения: трофический ресурс в одной точке пространства две особи одновременно использовать не могут. С другой стороны сами особи имеют определенные физические размеры и их нельзя поместить в одну точку пространства. Т. е., процесс случайного перемещения особей в поисках трофического ресурса и естественного «удаления» особей друг от друга начинается одновременно с зарождением популяции. Поэтому в дальнейшем считается, что  $D(u) > 0$ .

Автоволновое решение  $u = u(z)$ , где  $z = x + vt$ , уравнения (5) при условиях (4) на бесконечной прямой ( $-\infty < x < \infty$ ) должно удовлетворять уравнению

$$D(u) \frac{d^2 u}{dz^2} - \left( bu + v - \frac{dD(u)}{dz} \right) \frac{du}{dz} + f(u) = 0. \quad (6)$$

Для того чтобы существовало решение «бегущая волна», удовлетворяющее условиям (4), необходимо чтобы выполнялись условия

$$\lim_{z \rightarrow -\infty} \frac{du}{dz} = 0 \text{ и } \lim_{z \rightarrow \infty} \frac{du}{dz} = 0.$$

При  $u = 0$  и  $u = 1$  уравнение (6) тождественно удовлетворяется. В окрестности точки  $u = 1$  решение уравнения (6) представляется в виде  $u = 1 + \delta u$ , где  $\delta u$  — малая по сравнению с единицей величина. С учетом этого линеаризация уравнения (6) в окрестности этой точки приводит к уравнению для  $\delta u$

$$D(1) \frac{d^2 \delta u}{dz^2} + \left( \frac{dD(u)}{dz} \Big|_{u=1} - b - v \right) \frac{d\delta u}{dz} + \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=1} \delta u = 0.$$

Характеристический полином этого уравнения

$$D(1)\lambda^2 + \left( \frac{dD(u)}{dz} \Big|_{u=1} - b - v \right) \lambda + \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=1} = 0$$

имеет вещественные корни противоположных знаков. Поэтому в окрестности этой точки можно построить решение  $u = u(z)$  такое, что  $u(z) \rightarrow 1$  при  $z \rightarrow \infty$ .

В окрестности точки  $u = 0$  из (6) следует уравнение для малых возмущений  $\delta u$

$$D(0) \frac{d^2 \delta u}{dz^2} - \left( v - \frac{dD(u)}{dz} \Big|_{u=0} \right) \frac{d \delta u}{dz} + \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=0} \delta u = 0.$$

Если  $D(0) \neq 0$ , то собственными значениями характеристического полинома

$$D(0)\lambda^2 - \left( v - \frac{dD(u)}{dz} \Big|_{u=0} \right) \lambda + \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=0} = 0$$

Будут

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2D(0)} \left[ v - \frac{dD(u)}{dz} \Big|_{u=0} \pm \sqrt{\left( v - \frac{dD(u)}{dz} \Big|_{u=0} \right)^2 - 4D(0) \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=0}} \right].$$

Корни характеристического полинома не должны быть комплексно сопряженными, поскольку в этом случае осциллирующее в окрестности точки  $u = 0$  решение будет принимать отрицательные значения. Для построения возрастающего решения в окрестности этой точки необходимо чтобы хотя бы один из корней был положительным.

Поскольку  $\frac{dD(u)}{du} \Big|_{u=0}$  положительная величина, то корни будут положительными, если выполняется условие

$$v > \left. \frac{dD(u)}{du} \right|_{u=0} + 2 \sqrt{D(0) \left. \frac{df(u)}{du} \right|_{u=0}}.$$

При  $D(u) = D = \text{const}$  этот результат согласуется с результатом, приведенным в [19, 36, 42].

Решение уравнения (6) для полубесконечной прямой ( $x \in [0, \infty)$ ) вида  $u(x, t) = u(x - vt)$  должно удовлетворять уравнению

$$D(u) \frac{d^2 u}{dz^2} + \left( v + \frac{dD(u)}{dz} - bu \right) \frac{du}{dz} + f(u) = 0$$

При  $z = 0$  функция  $u = u(z)$  должна быть возрастающей. Поэтому решение уравнения (6) с начальными условиями

$$u(z = 0) = 0, \quad \left. \frac{du}{dz} \right|_{z=0} = u_0' > 0$$

должно быть положительным и стремиться к нулю при  $z \rightarrow \infty$ .

В окрестности точки  $u = 0$  (при  $z = \infty$ ) в первом приближении решение можно представить в виде  $u = \delta u$ , где  $\delta u$  — малая по сравнению с единицей величина. Тогда уравнение (6) в окрестности этой точки с точностью до величин второго порядка малости принимает вид

$$D(0) \frac{d^2 \delta u}{dz^2} + \left( v + \left. \frac{dD(u)}{du} \right|_{u=0} \right) \frac{d\delta u}{dz} + \left. \frac{df(u)}{du} \right|_{u=0} \delta u = 0.$$

Решение этого уравнения представляется в виде

$$u(z) = C_1 \exp(\lambda_1 z) + C_2 \exp(\lambda_2 z),$$



где

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2D(0)} \left[ - \left( v + \frac{dD(u)}{du} \Big|_{u=0} \right) \pm \sqrt{\left( v + \frac{dD(u)}{du} \Big|_{u=0} \right)^2 - 4D(0) \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=0}} \right]$$

- корни квадратного уравнения

$$D(0)\lambda^2 + \left( v + \frac{dD(u)}{du} \Big|_{u=0} \right) \lambda + \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=0} \delta u = 0.$$

Оба корня будут отрицательными, если выполняется неравенство

$$v > 2 \sqrt{D(0) \frac{df(u)}{du} \Big|_{u=0}} - \frac{dD(u)}{du} \Big|_{u=0}.$$

Это условие и является необходимым условием стремления функции  $u = u(z)$  к нулю на бесконечности и, соответственно необходимым условием существования автоволны.

Построение автоволнового решения на бесконечной прямой не представляется возможным. Для случая построения решения на отрезке конечной длины  $[-l, l]$  к уравнению (6) необходимо добавить граничные условия

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=-l} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0.$$

При этих граничных условиях решениям краевой задачи будут функции  $u \equiv 0$  и  $u \equiv 1$  и, соответственно, краевая задача будет иметь неединственное решение.

Один из вариантов построения решения — сведение решения краевой задачи (6) и (4) к решению задачи Коши методами типа Рунге-Кутты высокого порядка [11, 13, 28—33, 43] с начальными условиями

$$u(x = -l) = u_0, \quad \left. \frac{du}{dz} \right|_{x=-l} = u_0',$$

где  $0 < u_0 \ll 1$  и  $0 < u_0' \ll 1$  с последующим поиском значений  $u_0$  и  $u_0'$ , которые бы обеспечивали близость функции  $u = u(x)$  к единице при  $x = l$ , не дадут результата, поскольку в окрестности точек  $u = 0$  и  $u = 1$  решение задачи Коши будет неустойчивым.

При сведении построения решения краевой задачи к решению задачи минимизации функционала

$$\Phi(u) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ D(u) \frac{d^2 u}{dz^2} - \left( bu + v - \frac{dD(u)}{dz} \right) \frac{du}{dz} + f(u) \right] dx$$

с использованием степенных рядов и методов минимизации функционалов [14—18, 26, 27, 37, 38] также не приведет к результату в силу не единственности решения краевой задачи.

В работе использовался следующий алгоритм построения решения. Численное решение строится на двух промежутка конечной длины:  $[-l, 0]$  и  $[0, l]$ . На промежутке  $[-l, 0]$  удовлетворяются граничные условия

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=-l} = 0, \quad u(x = 0) = u_c \quad (0 < u_c < 1),$$

а на промежутке  $[0, l]$  условия

$$u(x = 0) = u_c, \quad \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=l} = 0.$$

Затем эти два решения «сшиваются» таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$\left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=-0} = \left. \frac{\partial u}{\partial x} \right|_{x=+0},$$

которое рассматривается как нелинейное уравнение относительно  $u_c$ . Поиск корня этого уравнения осуществляется методом Ньютона.

Поскольку уравнение (6) является нелинейным, то для построения его решения использовался метод простой итерации [8, 9]. На каждом итерационном шаге решалось линейное уравнение ( $k$  — номер итерации)

$$\frac{d}{dz} \left( D(u^{k-1}) \frac{du^k}{dz} \right) - bu^k \frac{du^{k-1}}{dx} + f(u^{k-1}) = 0, \quad (7)$$

с известной функцией  $u^{k-1} = u^{k-1}(x)$ , взятой с предыдущего итерационного шага. Решение считалось построенным, если выполнялось неравенство  $\max_x |u^k(x) - u^{k-1}(x)| < \varepsilon$ , где  $\varepsilon$  — малая величина.

На каждом из промежутков  $[-l, 0]$  и  $[0, l]$  уравнение (7) аппроксимировалось конечными разностями [4, 8, 20, 39, 45—46, 48—50] на равномерной сетке с шагом  $n = l/N$ , где  $N$  — число отрезков разбиения интервалов интегрирования. В результате решение краевой задачи сводилось к поиску решения системы нелинейных уравнений

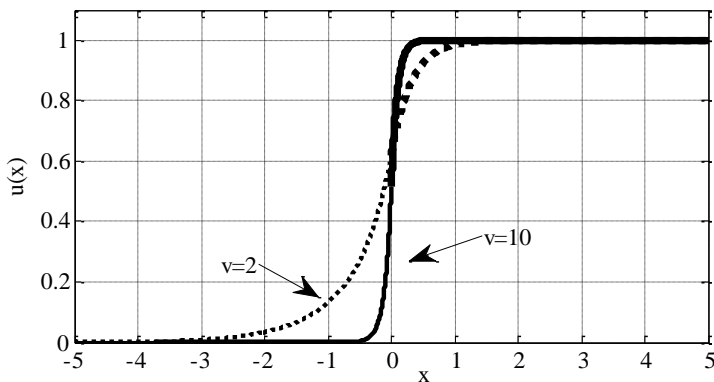
$$\begin{aligned} & \frac{1}{h^2} [A_i(u_{i+1} - u_i) - A_{i-1}(u_i - u_{i-1})] - \\ & - \frac{b}{h}(u_i + u_{i-1})(u_i - u_{i-1}) + f(u_i) = 0 \\ & A_i = D_{i+1}(u_{i+1}) + D_i(u_i), \quad i = 2, 3, \dots, N-1, \\ & u_1 - u_0 = 0, \quad u_N = u_c \text{ для отрезка } [-l, 0] \end{aligned}$$

и

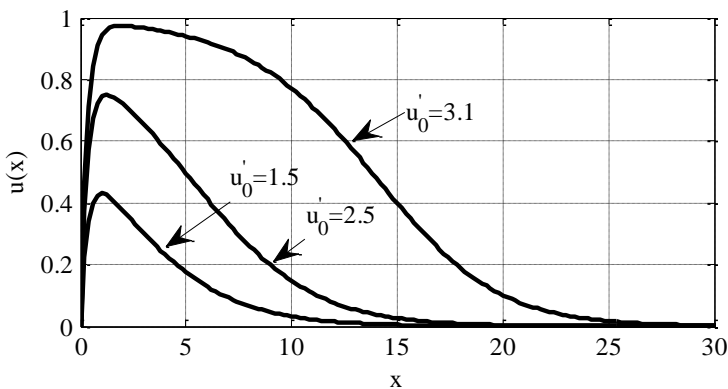
$$u_1 = u_c, \quad u_N - u_{N-1} = 0 \quad \text{для отрезка } [0, l].$$

На каждом итерационном шаге ((7)) система алгебраических уравнений является нелинейной, ее можно построить методом прогонки [8, 39]. Численная реализация осуществлялась в среде программирования пакета MatLab [2].

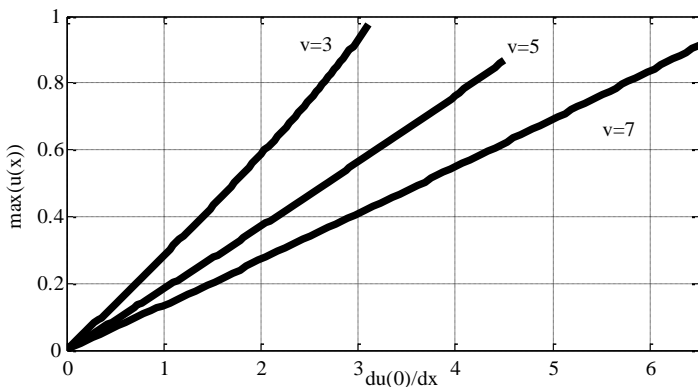
Некоторые из результатов численного моделирования представлены на рис. 1—3. На рис. 1 приведена зависимость  $u = u(x)$ , построенная на «бесконечной» прямой для случаев, когда  $\nu = 2$  и  $\nu = 10$  ( $D = 1$ ,  $f(u) = u(1 - u)$ ). На рис. 2 — форма автоволны, построенная на полубесконечной прямой для случаев  $du/dz = 15, 2.5, 3.1$  при  $z = 0$ , а на рис. 3 отображена зависимость максимальной амплитуды автоволны от  $du/dz$  при  $\nu = 3, 5, 7$ .



**Рисунок 1. Форма автоволны логистической популяции на «бесконечной» прямой при  $\nu = 2$  и  $\nu = 10$**



**Рисунок 2.** Форма автоволны логистической популяции на полубесконечной прямой при  $du/dz = 15, 2.5, 3.1$  для случая  $v = 2$



**Рисунок 3.** Зависимость максимальной амплитуды автоволны на полубесконечной прямой от  $du(0)/dz$  для случая  $v = 3, 5, 7$

Как следует из полученных выше результатов из «диффузионной» модели одиночной популяции следуют результаты, не содержащиеся в «точечных» моделях. Для обобщенной логистической популяции как на бесконечной прямой, та и на полуограниченной, могут существовать автоволновые решения. Скорость движения такой волны зависит от удельной скорости роста

численности популяции и от подвижности особей: чем выше удельная скорость роста численности популяции или их подвижность, тем с большей скоростью автоволна должна распространяться.

### Список литературы:

1. Александров А.Ю., Платонов А.В., Старков В.Н., Степенко Н.А. Математическое моделирование и исследование устойчивости биологических сообществ. СПб.: Соло, 2006. — 186 с.
2. Андрамонов М.Ю., Тамасян Г.Ш. Реализация аналитического кодифференцирования в пакете matlab // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. — 2007. — Т. 8. — № 2. — С. 1—5.
3. Базыкин А.Д. Нелинейная динамика взаимодействующих популяций. Москва-Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2003. — 368 с.
4. Балыкина Ю.Е., Колпак Е.П. Математические модели функционирования фолликула щитовидной железы / Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2013. — № 3. — С. 20—31.
5. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. Москва-Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2004. — 288 с.
6. Гилев А.В. Закономерности пространственного распределения и научные основы охраны рыжих лесных муравьев // Зоологический журнал. — 2010. — Т. 89. — № 12. — С. 1413—1420.
7. Гльзвин С.Д. Разностная аппроксимация уравнения «реакция — диффузия» на отрезке // Моделирование и анализ информационных систем. — 2009. — Т. 16. — № 3. — С. 96—116.
8. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы (введение в теорию). М.: Наука, 1973. — 400 с.
9. Горбунова Е.А., Колпак Е.П. Математические модели одиночной популяции // Вест. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10. — 2012. — Вып. 4. — С. 18—30.
10. Громов В.С. Пространственно-этологическая структура популяций грызунов. М.: Т-во науч. изданий КМК. 2008. — 581 с.
11. Еремин А.С., Олемской И.В. Вложенный метод интегрирования систем структурно разделенных обыкновенных дифференциальных уравнений // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2010. — Т. 50. — № 3. — С. 434—448.
12. Жукова И.В., Колпак Е.П. Математическая модель солидной опухоли // Естественные и математические науки в современном мире. — 2013. — № 13. — С. 18—25.

13. Кабриц С.А. Мальков В.М., Мансурова С.Е. Математическое моделирование нелинейной деформации эластомерного слоя // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2011. — № 3. — С. 56—63.
14. Карелин В.В. Один подход к задаче оценки параметров динамической системы в условиях неопределенности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2012. — № 4. — С. 31—36.
15. Карелин В.В. Точные штрафы в задаче наблюдения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2008. — № 4. — С. 3—8.
16. Карелин В.В. Точные штрафы в многоточечной задаче для обыкновенных дифференциальных уравнений // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — № 4. — С. 104—109.
17. Карелин В.В. Точные штрафы в задаче оценки координат динамической системы в условиях неопределенности // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2011. — № 4. — С. 40—46.
18. Карелин В.В. Штрафные функции в задаче управления процессом наблюдения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2010. — № 4. — С. 109—114
19. Колмогоров А.Н., Петровский И.Г., Пискунов Н.С. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием количества вещества, и его применение к одной биологической проблеме // Бюл. МГУ. Сер. А. Матем. и мех. — 1937. — Т. 1. — Вып. 1. — С. 1—26.
20. Колобов А.В., Полежаев А.А. Влияние случайной подвижности злокачественных клеток на устойчивость фронта опухоли // Компьютерные исследования и моделирование. — 2009. — Т. 1. — № 2. — С. 225—332.
21. Колпак Е.П., Балыкина Ю.Е., Котина Е.Д., Жукова И.В. Математическая модель нарушений функционирования щитовидной железы // Молодой Ученый. — 2014. — № 2(61). — С. 19—24.
22. Колпак Е.П., Горбунова Е.А., Балыкина Ю.Е., Гасратова Н.А. Математическая модель одиночной популяции на билокальном ареале // Молодой ученый. — 2014. — № 1 (6). — С. 28—33.
23. Колпак Е.П., Столбовая М.В. Математическая модель кинетики роста растений // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. — 2013. — № 12 (90). — С. 230—232.
24. Коробченко М.А. Расширение ареала крота европейского (*talpa europaea*) в долине реки Северный Донец // Зоологический журнал. — 2009. — Т. 88. — № 4. — С. 465—472.

25. Лидерман Г.В., Абатуров Б.Д., Быков А.В., Лопушков В.А. Динамика населения позвоночных животных Заволжской полупустыни. М.: Наука, 2005. — 252 с.
26. Матросов А.В. Вычислительная неустойчивость алгоритма метода начальных функций // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2010. — № 4. — С. 30—39.
27. Матросов А.В. Сходимость степенных рядов в методе начальных функций // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2012. — № 1. — С. 41—51.
28. Олемской И.В. Конструирование явных методов типа Рунге Кутты интегрирования систем специального вида // Известия высших учебных заведений. Математика. — 2005. — № 2. — С. 75—80.
29. Олемской И.В. Структурный подход в задаче конструирования явных одношаговых методов // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2003. — Т. 43. — № 7. — С. 961—974.
30. Олемской И.В. Вложенный пятиэтапный метод пятого порядка типа Дормана-Принса // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2005. — Т. 45. — № 7. — С. 1181—1191
31. Олемской И.В. Метод типа Рунге — Кутты интегрирования систем и дифференциальных уравнений второго порядка специального вида // Вычислительные технологии. — 2004. — Т. 9. — № 2. — С. 67—81.
32. Олемской И.В. Четырехэтапный метод пятого порядка точности численного интегрирования систем специального вида // Журнал вычислительной математики и математической физики. — 2002. — Т. 42. — № 8. — С. 1179.
33. Олемской И.В. Явный метод типа Рунге — Кутты пятого порядка // Вычислительные технологии. — 2005. — Т. 10. — № 2. — С. 87—105.
34. Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Биофизическая динамика продукционных процессов. Москва-Ижевск: Институт компьютерных технологий, 2004. — 464 с.
35. Садыков О.Ф., Бененсон И.Е. Динамика численности мелких млекопитающих: Концепции, гипотезы, модели. М.: Наука, 1992. — 191 с.
36. Свирижев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М: Наука, 1987. — 368 с.
37. Тамасян Г.Ш. Градиентные методы в вариационной задаче со свободными концами // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2012. — № 4. — С. 77—84



38. Тамасян Г.Ш Градиентные методы решения задачи коши // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 10: Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. — 2009. — № 4. — С. 224—230.
39. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. М.: Наука, 1972. — 735 с.
40. Тютюнов Ю.В. Пространственная модель развития устойчивости насекомых-вредителей к трансгенной инсектицидной сельскохозяйственной культуре // Биофизика. — Т. 52. — № 1. — С. 95—113.
41. Шиятов С.Г., Терентьев М.М., Фомин В.В., Циммерман Н.Е. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на полярном Урале // Экология. — 2007. — № 4. — С. 243—48.
42. Coville J., Dupaigne L. Propagation speed of travelling fronts in non local reaction–diffusion equations // Nonlinear Analysis. — 2005. — V. 60. — P. 797—819.
43. Eremin A.S., Olemskoy I.V. An embedded method for integrating systems of structurally separated ordinary differential equations // Computational Mathematics and Mathematical Physics. — 2010. — Т. 50. — № 3. — С. 414—427.
44. King J.R., Franks S.J. Mathematical analysis of some multi-dimensional tissue-growth models // Euro. J. of Applied Mathematics. — 2004. — V. 15. — P. 273—295.
45. Mickens R.E. A nonstandard finite difference scheme for a PDE modeling combustion with nonlinear advection and diffusion // Mathematics and computers in simulation. — 2005. — № 69. — P. 439—446.
46. Mickens R.E. A nonstandard finite difference scheme for the diffusionless Burgers equation with logistic reaction // Mathematics and computers in simulation. — 2003. — № 62. — P. 117—124.
47. Murray D.D. Mathematical biology. N.Y. Springer. 2002. — 551 p.
48. Needham D.J. On the formation of acceleration and reaction–diffusion wavefronts in autocatalytic-type reaction–diffusion systems // IMA Journal of Applied Mathematics. — 2006. — V. 71. — P. 446—458
49. Schofield P. Spatial explicit models of Turelli-Hoffmann Wolbachia invasive wave fronts // J. Theor. Biol. — 2001. — V. 212. — № 1. — P. 121—131.
50. Yongdong Jin, Jiuping Xu, Wenhua Zhang, Jiuli Luo, Qiwang Xu Simulation of biological waves in single-species bacillus system governed by birth and death-diffusion dynamical equation // Mathematics and Computers in Simulation. — 2005. — V. 68. — P. 317—327.

**РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ  
ЛИНЕЙНОГО ОПЕРАТОРА  
С ЦЕЛЬЮ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ  
В ПОЛИВЕКТОРНОМ АНАЛИЗЕ**

*Пешикчев Юрий Афанасьевич*

*канд. физ.-мат. наук, исполнитель, ООО «Интеллект-Сервис»,  
РФ, г. Бердск  
E-mail: [peshyur@inbox.ru](mailto:peshyur@inbox.ru)*

**DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF CAUSALITY  
OF LINEAR OPERATOR FOR THE PURPOSE  
OF ITS APPLICATION IN POLYVECTOR ANALYSIS**

*Yuriy Peshkichev*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, performer,  
LLC "Intellekt-Servis",  
Russia, Berdsk*

**АННОТАЦИЯ**

Развивается теория обусловленности линейного оператора с целью построения поливекторного анализа на основе поливекторной алгебры.

**ABSTRACT**

In the article there is developed the causality theory of linear operator for the purpose of constructing a polyvector analysis on the basis of polyvector algebra.

**Ключевые слова:** обусловленность, поливектор, норма матрицы, линейное отображение, сингулярные числа.

**Keywords:** causality; polyvector; norm of a matrix; linear mapping; singular values.

Поливекторная алгебра изложена в учебнике [3]. Для развития на её основе поливекторного анализа потребовалось привлечение понятия обусловленности линейного оператора, разработанного в рамках квазиконформного анализа [4]. Такое же понятие возникло и в теории устойчивости систем линейных алгебраических урав-

нений [1]. В данной статье использованы оба подхода к понятию обусловленности.

1. Обусловленность в теории устойчивости систем линейных алгебраических уравнений.

Рассмотрим число обусловленности  $\mu(A) = \|A\| \cdot \|A^{-1}\|$  невырожденной квадратной матрицы  $A$  порядка  $n$  на основе спектральной нормы. Если рассмотреть сингулярные числа  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_n$ , то  $\|A\| = \sigma_1$ ,  $\mu(A) = \sigma_1/\sigma_n$ . Но в таком случае

$$(\|A\|^n / |\det A|)^{1/(n-1)} \leq \mu(A) \leq \|A\|^n / |\det A|.$$

Очевидно, что при этом  $\mu(A) = \mu(A^{-1}) \geq 1$ . Как показано в учебнике [1, с. 124],  $\mu(AB) \leq \mu(A)\mu(B)$ . В научной литературе можно найти оценки обусловленности суммы матриц. Здесь мы сделаем это для положительно определённых матриц. Нам понадобится неравенство Минковского для определителей

$$\det(A+B)^{1/n} \geq \det A^{1/n} + \det B^{1/n}.$$

С его помощью получаем

$$\mu(A+B)^{1/n} \leq (\|A\| + \|B\|) / \det(A+B)^{1/n} \leq \mu(A)^{(n-1)/n} + \mu(B)^{(n-1)/n}.$$

Число обусловленности  $\mu(A)$  — коэффициент искажения длин при линейном отображении  $A: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$ . А именно, для  $n$ -мерной вектор-строки  $X$  полагаем  $Y = X \cdot A$ . Тогда

$$(|Y|/|X|)^n \leq \sigma_1^n \leq \mu(A)^{n-1} \sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_n = \mu(A)^{n-1} |\det A|.$$

В геометрической теории функций полученное неравенство позволяет оценивать искажение модуля градиента сложной скалярной функции при переходе к криволинейным координатам. Интерес представляет также коэффициент искажения  $m$ -мерных площадей при линейном отображении  $A: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$  ( $m = 1, 2, \dots, n-1$ )

$$\mu_m(A) = \sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m / (\sigma_n \sigma_{n-1} \dots \sigma_{n-(m-1)}),$$

для которого  $\mu_m(A) = \mu_m(A^{-1}) = \mu_{n-m}(A)$ ,  $\mu_1(A) \leq \mu_2(A) \leq \dots \leq \mu_m(A) \leq \mu_1(A)^m$ . Для простого  $m$ -вектора  $X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_m$ , образованного векторами в пространстве  $\mathbb{R}^n$ , с матрицей  $(X_1 X_2 \dots X_m)$  рассмотрим

матрицу  $(Y_1 Y_2 \dots Y_m) = (X_1 X_2 \dots X_m)A$  и соответствующий простой  $m$ -вектор  $Y_1 \wedge Y_2 \wedge \dots \wedge Y_m$ . Тогда

$$\begin{aligned} |Y_1 \wedge Y_2 \wedge \dots \wedge Y_m| / |X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_m| &\leq \sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m = \\ &= (\mu_m(A))^{m/n} \sigma_n \sigma_{n-1} \dots \sigma_{n-(m-1)} \leq \mu_m(A) |\det A|^{m/n}. \end{aligned}$$

В геометрической теории функций полученное неравенство позволяет оценивать модуль многомерного градиента сложной векторной функции при переходе к криволинейным координатам.

## 2. Обусловленность в квазиконформном анализе.

Пусть  $M_{IJ}$  — минор матрицы  $A$ , образованный её элементами, находящимися на пересечении её строк и столбцов с номерами, составляющими соответственно мультииндексы  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ ,  $J = \{j_1, j_2, \dots, j_m\}$ , где  $1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_m \leq n$ ,  $1 \leq j_1 < j_2 < \dots < j_m \leq n$ . Полагаем

$$\lambda_m(A) = (\sum_I \sum_J M_{IJ}^2)^{1/2}, \quad Q_m(A) = \lambda_m(A) / ((C_n^m)^{1/2} |\det A|^{m/n}),$$

где  $C_n^m$  — число всех сочетаний из  $n$  элементов по  $m$ . Величина  $Q_m(A)$  является аналогом числа обусловленности матрицы из первого пункта. Как установлено в [2, с. 30],  $\lambda_m(A) = \lambda_{n-m}(A^{-1}) |\det A|$ . Отсюда следует свойство  $Q_m(A) = Q_{n-m}(A)$ . Для положительно определённых квадратных матриц  $A, B$  порядка  $n$  будет

$$(Q_1(A+B))^{1/n} \leq (Q_1(A))^{1/n} + (Q_1(B))^{1/n}.$$

Если при линейном отображении  $A: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^n$  взять  $Y = X \cdot A$ , то

$$|Y|/|X| \leq \lambda_1(A) = n^{1/2} Q_1(A) |\det A|^{1/n}.$$

Для линейного преобразования поливекторов выполняется неравенство

$$|Y_1 \wedge Y_2 \wedge \dots \wedge Y_m| / |X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_m| \leq \lambda_m(A) = (C_n^m)^{1/2} |\det A|^{m/n}.$$

## 3. Связь между двумя видами обусловленности.

Теорема 1. Для невырожденной квадратной матрицы  $A$  порядка  $n$  выполняется неравенство  $1/\mu_m(A) \leq Q_m(A) \leq \mu_m(A)$ .

Доказательство. Пусть  $P_1$  — параллелепипед, построенный на векторах-строках матрицы  $A$  с номерами  $i_1, i_2, \dots, i_m$ , составляющими многомерный индекс  $I$ ,  $R_1$  — параллелепипед, построенный

на оставшихся векторах-строках матрицы  $A$ . Символом  $\text{Vol}_m(P)$  обозначим  $m$ -мерный объём параллелепипеда  $P$ . Тогда

$$(\sum_j M_{jj}^2)^{1/2} |\det A| = \text{Vol}_m(P_1) \text{Vol}_{n-m}(R_1).$$

Эта формула относится к многомерной геометрии, рассмотренной в книге [5]. Чтобы не отвлекаться на её вывод, заметим, что она следует из результатов геометрической теории меры, относящихся к обобщённой теореме Фубини [6, с. 278]. Поскольку

$$\sigma_n \sigma_{n-1} \dots \sigma_{n-(m-1)} \leq \text{Vol}_m(P_1) \leq \sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m,$$

то получаются неравенства  $1/(\mu_m(A))^2 \leq \sum_j M_{jj}^2 \leq (\mu_m(A))^2$ . Остаётся просуммировать эти неравенства по индексу  $i$  и извлечь затем квадратный корень.

Теорема 2. Для невырожденной квадратной матрицы  $A$  порядка  $n$  выполняется неравенство

$$(\mu_m(A))^{m/n} \leq (C_n^m)^{1/2} Q_m(A).$$

Доказательство. Так как

$$\mu_m(A) \leq \lambda_m(A) / (\sigma_n \sigma_{n-1} \dots \sigma_{n-(m-1)}) = \lambda_m(A) \sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_{n-m} / |\det A|,$$

то нужно показать, что  $(\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_{n-m})^m \leq (\lambda_m(A))^{n-m}$ . Поскольку  $\mu_m(A) = \mu_{n-m}(A)$ , то достаточно рассмотреть случай  $m \leq n-m$ . Пусть  $n-m = km+1$ , где  $k, l$  – натуральные числа (допускаются их нулевые значения). Тогда

$$(\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_{n-m})^m \leq (\lambda_m(A))^{km} (\sigma_{n-m-l+1} \dots \sigma_{n-m})^m \leq (\lambda_m(A))^{km} (\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_m)^l \leq (\lambda_m(A))^{km+l} = (\lambda_m(A))^{n-m}.$$

В квазиконформном анализе утверждения, подобные теоремам 1 и 2, используются при доказательстве эквивалентности различных определений квазиконформности.

### Список литературы:

1. Беклемишев Д.В. Дополнительные главы линейной алгебры. М.: Наука, 1983. — 336 с.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука, 1988. — 552 с.

3. Ефимов Н.В., Розендорн Э.Р. Линейная алгебра и многомерная геометрия. М.: Физматлит, 2005. — 464 с.
4. Пешкичев Ю.А. Многомерный градиент и квазиконформные отображения // Вопросы метрической теории отображений и её применение. Киев: Наукова думка, 1978. — С. 99—109.
5. Розенфельд Б.А. Многомерные пространства. М.: Наука, 1966. — 648 с.
6. Федерер Г. Геометрическая теория меры. М.: Наука, 1987. — 760 с.

## **ХАОТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ**

*Якубовский Евгений Георгиевич*

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

## **CHAOTIC SOLUTIONS ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS**

*Evgeniy Georgievich Yakubovski*

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

### **АННОТАЦИЯ**

В математике вводится понятие хаотического решения обыкновенных дифференциальных уравнений. При малых отклонениях начальных данных получается большое отклонение решения. Оказывается, при кратных координатах положения равновесия у автономной нормальной системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка наблюдается хаотическое решение.

### **ABSTRACT**

In mathematics, we introduce the notion of chaotic solutions of ordinary differential equations. For small deviations of initial data obtained large deviation solutions. It turns out that when we have multiple coordinates of position of equilibrium observed chaotic solution.

**Ключевые слова:** хаотическое решение обыкновенных дифференциальных уравнений; кратные координаты положения равновесия.

**Keywords:** chaotic solution of ordinary differential equations; multiple equilibrium position coordinates.

Решение задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений описывает детерминированное решение. Показано, что в случае кратных значений положения равновесия может иметься хаотическое решение. При этом малым изменениям начальных данных соответствует большое изменение решения. При этом решение оказывается многозначным.

Ставится задача нахождение условий, когда система нелинейных уравнений имеет хаотическое решение. Т. е. перескок от одного положения равновесия к другому. Эта система уравнений описывает скачкообразное, турбулентное решение уравнений гидродинамики, когда локальная скорость потока не предсказуема во времени. Оказывается, что это условие наступает, при кратных положениях равновесия системы обыкновенных нелинейных уравнений, к которым сводятся решения нелинейных уравнений в частных производных с помощью метода Галеркина.

Рассмотрим систему нелинейных автономных дифференциальных уравнений

$$\frac{dy_l}{dt} = Q_l(y_1, \dots, y_N), l = 1, \dots, N \quad (1)$$

Постараемся добиться, чтобы определитель эквивалентной линеаризованной системы уравнений равнялся нулю. Для этого осуществим вырожденное в положении равновесия с кратным корнем (кратный корень является кратной координатой положения равновесия) преобразование неизвестных функций  $y_l = f_l(x_1, \dots, x_N), l = 1, \dots, N$ . Подставим в дифференциальное уравнение, получим

$$\begin{aligned} \frac{dx_l}{dt} &= \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial f_l}{\partial x_k} \right)^{-1} Q_k[f_1(x_1, \dots, x_N), \dots, f_N(x_1, \dots, x_N)] = \\ &= F_l(x_1, \dots, x_N), l = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (2)$$

Будем рассматривать для  $l$  уравнения координату  $x_l$  независимой, а остальные координаты как функции времени, являющиеся решением дифференциального уравнения. Система уравнений разбивается на  $N$  независимых неавтономных уравнений, причем  $l$  уравнение зависит от одной переменной  $x_l$  и от времени. В случае, когда решение равно координатам положения равновесия, правая часть дифференциального уравнения не зависит от времени. При этом в точке положения равновесия с двукратным корнем правая часть системы (2) представляет неопределенность  $0^2/0$ , и, следовательно, определяет координаты не кратного положения равновесия для системы (2). Числитель соотношения неопределенности равен квадрату нуля из-за двукратного положения равновесия системы (1). Знаменатель равен нулю из-за вырожденности преобразования. При этом связь между решениями относительно преобразования  $y_l = f_l(x_1, \dots, x_N), l = 1, \dots, N$  одинакова со связью между положениями равновесия (связь вырожденна в кратном положении равновесия, но при этом для остальных произвольных значениях  $x_l$  получается единственное значение  $y_l$ ). При этом справедливо следующее равенство

$$\begin{aligned} b_l &= f_l(a_1, \dots, a_N), Q_l(b_1, \dots, b_N) = \\ &= 0, F_l(a_1, \dots, a_N) = 0; l = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Допустим, матрица уравнения (1) имеет двукратное положение равновесия. Тогда матрица уравнения (2), полученного из уравнения (1), с помощью преобразования  $y_l = f_l(x_1, \dots, x_N)$  равна

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_l}{\partial x_k} &= \frac{\partial}{\partial x_k} \left\{ \sum_{n=1}^N \left( \frac{\partial f_l}{\partial x_n} \right)^{-1} Q_n[y_1(x_1, \dots, x_N), \dots, y_N(x_1, \dots, x_N)] \right\} = \\ &= \sum_{n=1}^N Q_n[y_1(x_1, \dots, x_N), \dots, y_N(x_1, \dots, x_N)] \frac{\partial}{\partial x_k} \left( \frac{\partial f_l}{\partial x_n} \right)^{-1} + \\ &\quad + \sum_{n,m=1}^N \left( \frac{\partial f_l}{\partial x_n} \right)^{-1} \frac{\partial Q_n}{\partial y_m} \frac{\partial f_m}{\partial x_k} \end{aligned}$$



При этом первый член второй строки этой формулы является константой в точке положения равновесия, так как в точке положения равновесия имеем

$$\begin{aligned} Q_n[y_1(x_1, \dots, x_N), \dots, y_N(x_1, \dots, x_N)] \frac{\partial}{\partial x_k} \left( \frac{\partial f_l}{\partial x_n} \right)^{-1} = \\ = 0^2 \frac{\partial}{\partial x_k} \frac{1}{0} = const \end{aligned}$$

и выбором преобразования  $y_l(x_1, \dots, x_N), l = 1, \dots, N$  можно добиться, что матрица  $\frac{\partial F_l}{\partial x_k}$  может быть вырождена в точке кратных координат положения равновесия системы (1).

Но преобразование переменных  $y_l = f_l(x_1, \dots, x_N), l = 1, \dots, N$  не произвольно. Преобразование таково, что действительным или комплексным корням  $a_l$  должны соответствовать действительные или комплексные корни  $b_l$ . Строить систему (2) необходимо, так как добиваемся, чтобы определитель линеаризованной системы уравнений (2) равнялся нулю.

Исследуются комплексные и действительные решения задачи Коши дифференциального уравнения (2) в случае действительных и комплексных начальных условиях, при действительном аргументе  $t$ , т. е.  $x_l(t_0) = x_l^0, l = 1, \dots, N$ , где величина  $t_0$  соответствует начальному моменту интегрирования, а величина  $x_l^0$  в общем случае комплексная. Причем в случае действительных значениях  $x_k, k = 1, \dots, N$ , правая часть (2) действительна. Причем в случае комплексного решения правая часть регулярная функция, т. е. однозначная функция своих аргументов.

В книге [1], описан сценарий рождения аттрактора Лоренца через неполный двойной гомоклинический каскад бифуркаций. В этой книге считается, что условием хаотического решения является наличие в системе Лоренца седло-узла и двух седло-фокусов, откуда вытекает возможность существования в ней различных гомоклинических

и гетероклинических контуров особых точек и связанных с ними каскадов бифуркаций. Терминологию и объяснение обозначений см. [1].

В предлагаемой статье определен простой критерий существования хаотического решения. Наличие хаотических решений связано с наличием кратного положения равновесия системы уравнений.

Теорема 1. Пусть  $b_k$  координаты одного из положений равновесия системы (1). В случае двукратного значения положения равновесия  $b_N$ , линейное приближение решения системы дифференциальных уравнений (2) с устойчивым положением равновесия  $\text{Re } \lambda_k < 0, k = 1, \dots, N-1$ , определяет сходимость

к положению равновесия при условии  $|g_{NN}^{-1} g_{NN}| < 1$ , где матрица  $g_{lk}$ , это собственные векторы матрицы линеаризованной системы.

В случае противоположного условия  $|g_{NN}^{-1} g_{NN}| > 1$  положение равновесия не достижимо и получается многозначное решение. Предполагается, что выполняется  $N > 2$ .

Доказательство. В силу существования двукратного корня, равного  $b_N$  уравнение (1) можно привести к виду (2) с вырожденной матрицей линеаризованной системы

$$\begin{aligned} \frac{dx_s}{dt} = & \sum_{k=1}^N \frac{\partial F_s}{\partial x_k} \Big|_{x_p=a_p} (x_k - a_k) + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{l,k=1}^N \frac{\partial^2 F_s}{\partial x_l \partial x_p} \Big|_{x_p=a_p} (x_l - a_l)(x_k - a_k) + \dots \end{aligned}$$

Т. е. определитель матрицы  $\frac{\partial F_l}{\partial x_k} \Big|_{x_p=a_p}$  равен нулю в этом представлении. Решаем линеаризованное уравнение (3)

$$\frac{dx_l}{dt} = \sum_{k=1}^N \frac{\partial F_l}{\partial x_k} \Big|_{x_p=a_p} (x_k - a_k), l = 1, \dots, N \quad (3)$$

Это уравнение имеет решение в окрестности положения равновесия

$$x_l = a_l + \sum_{k=1}^{N-1} g_{lk} \exp[\lambda_k(t-t_1)]c_k + g_{lN}c_N, \quad \text{так как } \lambda_N = 0,$$

где собственные векторы  $g_{lk}$  и собственные числа  $\lambda_k$  определяются из системы уравнений

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial F_l}{\partial x_k} \Big|_{x_p=a_p} - \lambda_\alpha \delta_{lk} \right| &= 0, l, k = 1, \dots, N \\ \sum_{k=1}^N \left( \frac{\partial F_l}{\partial x_k} \Big|_{x_p=a_p} - \lambda_\alpha \delta_{lk} \right) g_{k\alpha} &= 0, l = 1, \dots, N \end{aligned}$$

Причем наблюдается приближение  $x_l$  к значению  $x_l = a_l + g_{lN}c_N$ . Причем положение равновесия не обязательно достижимо в случае кратных корней, даже для системы с  $\text{Re } \lambda_k < 0, k = 1, \dots, N-1$ , так как выполняется условие  $\lambda_N = 0$ . Найдем условие сходимости к кратному корню. Имеется формула

$$\begin{aligned} c_N^t &= \sum_{l=1}^N g_{Nl}^{-1} \exp(-\lambda_l t) g_{lN} c_N = \\ &= \sum_{l=1}^{N-1} g_{Nl}^{-1} \exp(-\lambda_l t) g_{lN} c_N + \exp[k \ln(g_{NN}^{-1} g_{NN})] c_N, k = t/h \end{aligned}$$

При этом для определения константы  $c_N$  при дискретном вычислении решения имеем следующее рекуррентное соотношение  $c_N^{k+1} = g_{NN}^{-1} g_{NN} c_N^k$  при достижении устойчивыми координатами положения равновесия. Т.е. условием сходимости решения в направлении  $g_{lN}$  является неравенство  $|g_{NN}^{-1} g_{NN}| < 1$ . При условии  $|g_{NN}^{-1} g_{NN}| > 1$  наблюдается отсутствие сходимости в одном направлении  $g_{lN}$ , остальные  $c_l$  не растут. Скачок решения

осуществляется мгновенно на произвольное значение величины  $C_N$ , по формуле

$$c_N^t = \exp \left\{ t \left[ \ln \left( \left| \sum_{l=1}^N g_{Nl}^{-1} g_{lN} \right| \right) + i \arg \left( \sum_{l=1}^N g_{Nl}^{-1} g_{lN} \right) + 2\pi i s \right] / h \right\} c_N^0,$$

в моменты времени, когда по устойчивым направлениям достигнуто положение равновесия. При этом решение увеличится в разы

$$\exp \left\{ \alpha \left[ \ln \left( \left| g_{NN}^{-1} g_{NN} \right| \right) + i \arg \left( g_{NN}^{-1} g_{NN} \right) + 2\pi i s \right] \right\} \quad (4)$$

Но в силу приближенности решения, получится не бесконечность, а переход к другому положению равновесия. Точное решение при численном счете получается мгновенно при условии  $h \rightarrow 0$  и имеет значение, зависящее от малости величины  $h$ . Т. е. происходит произвольный скачок. Остальные направления  $g_{lk}, k = 1, \dots, N - 1$  собственного вектора, соответствуют устойчивому собственному числу положения равновесия.

Причем в случае решения с помощью численной схемы получится в случае рационального значения  $\alpha$  в формуле (4) конечное число состояний, а в общем случае при иррациональном значении  $\alpha$  получится счетное число состояний. Численный счет в случае  $\alpha$  целого определит единственное решение, так как период умножается на целое число. Но в случае переменного шага, при численном счете, тоже получится многозначное решение.

Получается, что в случае одного нулевого собственного числа и остальных собственных числах с отрицательной действительной частью, наблюдается приближение к положению равновесия вдоль собственных векторов с собственными числами с отрицательной действительной частью и при определенных условиях удаление по направлению собственных векторов с нулевым собственным числом.

Отметим, что подобная картина наблюдается и у системы (1), так ее положения равновесия достигаются одновременно с положениями равновесия системы (2) в силу преобразования координат.

Приближение будет по всем направлениям к положению равновесия, и удаление по одному направлению, даже если нет собственного числа равного нулю. Все равно будет существовать направление удаления решения в силу одинаковости приближения к положению равновесия этих систем уравнений.

При этом в начальной точке отскока от положения равновесия наблюдается минимум суммы квадратов модулей правых частей дифференциального уравнения, что можно использовать для характеристики локального среднего решения обыкновенного дифференциального уравнения. Координаты этого минимума, который определяется при произвольных начальных условиях, характеризуют решение дифференциального уравнения, как и координаты положения равновесия. Координаты минимума определяются из уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \operatorname{Re} x_k} \sum_{l=1}^N |F_l(x_1, \dots, x_N)|^2 = \\ = 0; \quad \frac{\partial}{\partial \operatorname{Im} x_k} \sum_{l=1}^N |F_l(x_1, \dots, x_N)|^2 = 0 \end{aligned}$$

Причем координаты минимума не зависят от начальных условий и решение достигает координат минимума в силу доказанной теоремы.

Аналогичная теорема справедлива для задачи Коши в комплексной плоскости. Т. е. при кратных корнях при комплексных уравнениях наблюдается хаотическое решение и в случае решения в комплексной плоскости.

### Список литературы:

1. Магницкий Н.А., С.В. Сидоров Новые методы хаотической динамики. М.: Едиториал УРСС, 2004 г., — с. 320.

## СЕКЦИЯ 2.

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### 2.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

##### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В СРЕДЕ VISSIM

***Грыжов Владимир Константинович***

*канд. техн. наук, зав. кафедрой естественно-научных  
и технических дисциплин, доцент,  
филиала «Московского государственного университета технологии  
и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма*

***Кузьмин Константин Анатольевич***

*канд. пед. наук, доцент кафедры естественно-научных  
и технических дисциплин, филиала «Московского государственного  
университета технологии и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма*

***Грыжов Евгений Владимирович***

*зав. лабораторией систем управления и автоматизации  
технологических процессов филиала «Московского государственного  
университета технологии и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма  
E-mail: [dombr55@mail.ru](mailto:dombr55@mail.ru)*

# **A SIMULATION MODEL OF THE SYSTEM SOFTWARE TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL IN VISSIM ENVIRONMENT**

***Vladimir Konstantinovich Gryzhov***

*associate professor, PhD (engineering),  
head of the Department of science and engineering disciplines,  
of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies  
and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

***Konstantin Anatolyevich Kuzmin***

*associate professor, PhD (education),  
Department of science and engineering disciplines,  
of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies  
and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

***Eugeni Vladimirovich Gryzhov***

*head of technological processes automation and control systems,  
of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies  
and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

## **АННОТАЦИЯ**

В среде моделирования VisSim на примере тепловлажностной обработки железобетонных изделий разработана имитационная модель системы программного управления технологическим процессом. Представленная модель системы управления является каскадной и открытой для дальнейших изменений и дополнений, что дает возможность для исследования и проектирования аналогичных систем управления.

## **ABSTRACT.**

In VisSim simulation environment on the example of heat and humidity treatment of reinforced concrete products a simulation model of software technological process control is developed. The presented model is the cascade control system and is open for further changes and additions, which allows for study and design of similar control systems.

**Ключевые слова:** имитационная модель; ПИ-регулятор; каскадная система управления; технологическая карта; тепловлажностная обработка.

**Keywords:** simulation model; PI controller; cascade control system; technological chart; heat and humidity treatment

Программа Vissim, разработанная и развиваемая компанией Visual Solutions, мощное, удобное для пользователя, компактное и эффективное средство моделирования физических и технических объектов, систем и их элементов.

В программе VisSim можно моделировать различные системы: линейные и нелинейные; непрерывные и дискретные. В одной модели можно одновременно задавать и определять как непрерывные, так и дискретные передаточные функции; для дискретной части модели возможно многочастотное квантование.

Вышеописанные достоинства и возможности программы VisSim могут успешно применяться в качестве средства моделирования и разработки различных автоматизированных систем при решении широкого круга научных и инженерных задач.

В данной работе для примера приводится имитационная модель тепловлажностной обработки железо-бетонных изделий.

Известно, что процесс твердения бетона значительно превышает по длительности все остальные операции по изготовлению бетонных и железобетонных изделий. Тепловая обработка, позволяющая во много раз ускорить процесс твердения бетона, является, как правило, необходимым условием заводского производства бетонных и железобетонных изделий; включение тепловой обработки в технологический процесс изготовления изделий дает возможность значительно увеличить оборачиваемость форм, повысить коэффициент использования производственных площадей цеха и сократить длительность общего цикла производства.

К методам тепловой обработки может быть отнесен метод тепловлажностной обработки бетона при атмосферном давлении в сформованных изделиях в пропарочных камерах явного типа. Этот метод является наиболее распространенным способом тепловой обработки бетонных и железобетонных изделий. При пропаривании сформованные изделия выдерживаются в камере в среде насыщенного пара или паровоздушной смеси до достижения бетоном заданной прочности. В пропарочной камере создаются не только благоприятная температура для ускоренного твердения (в пределах 60—100 °С), но и оптимальная влажность среды, способствующая сохранению



влаги в бетоне для его дальнейшего твердения и после окончания пропаривания. Это позволяет сократить сроки твердения бетона до заданной прочности с 28 суток до 8—6 ч. и дает основание считать пропаривание наиболее эффективной тепловлажностной обработкой бетона.

Основными параметрами режима пропаривания бетона являются:

- принятая максимальная температура среды, при которой осуществляется изотермический прогрев и его продолжительность;
- длительность и характер подъема температуры в камере от исходной до принятой наивысшей (скорость подъема температуры в камере);
- скорость понижения температуры среды (интенсивность остывания бетона в камере после тепловой обработки);
- относительная влажность среды твердения, а так же срок предварительного выдерживания сформованных изделий до начала тепловой обработки.

Изотермический прогрев. Температуру в камере пропаривания на стадии изотермического прогрева следует принимать для бетонов на рядовых портландцементях (с умеренным содержанием трехкальцевого алюмината —  $C_3A$ ), равной 80—85° С. При более низкой температуре длительность изотермического прогрева существенно увеличивается, что нежелательно из-за снижения оборачиваемости камер, форм для изделий и пр. Однако, если используемый портландцемент содержит  $C_3A$  более 10—12 %, температуру изотермического прогрева приходится уменьшать до 65—70 °С с тем, чтобы уменьшить возможный недобор прочности при последующем твердении бетона по сравнению с бетоном, твердевшим в нормальных температурно-влажностных условиях.

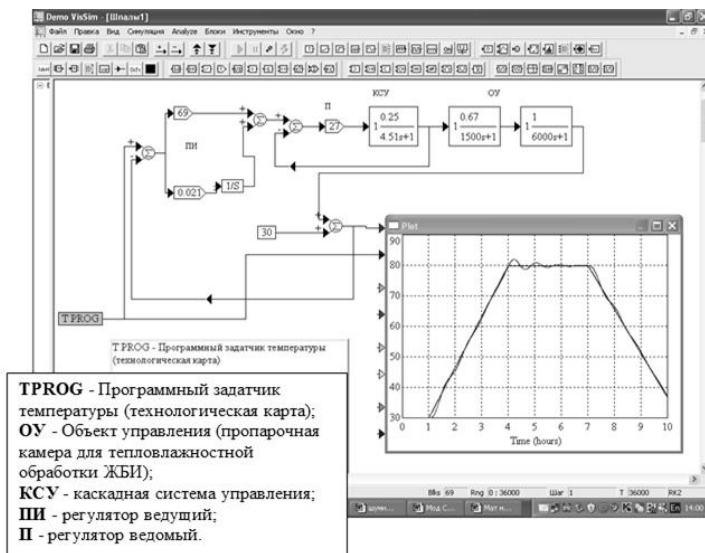
**Подъем температуры бетона** (или среды в камере) является наиболее ответственным этапом тепловой обработки, так как возможные нарушения в структуре бетона протекают именно на этой стадии тепловой обработки. Величина и характер структурных нарушений зависят от достигнутой бетоном к началу тепловой обработки прочности, от скорости подъема температуры среды в камере и ряда других факторов, способствующих или препятствующих развитию деструктивных процессов.

Предварительное выдерживание сформованных изделий перед тепловой обработкой имеет целью обеспечить бетону ту минимально необходимую начальную (критическую) прочность бетона, при которой он может воспринимать тепловое воздействие при принятом режиме без нарушения его структуры. Оптимальное

время выдерживания зависит от вида и марки (активности) цемента, начального водосодержания бетонной смеси (В/Ц), температуры среды и применения химических ускорителей твердения; оно должно составлять в среднем 2—4 ч., в отдельных случаях и более, но не менее 1—2 ч.

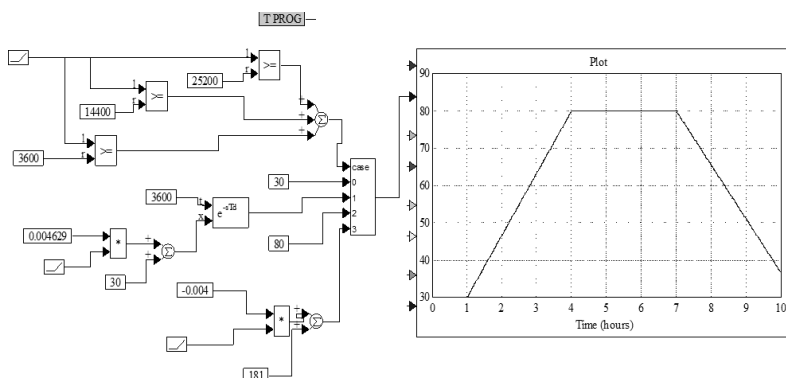
Выбирая в зависимости от марки и вида применяемого цемента, температуры изотермического прогрева и водоцементного отношения ту или иную кривую, можно определить необходимую продолжительность прогрева (подъем температуры + изотермический прогрев), а также рекомендуемую скорость подъема температуры в камере для получения требуемой прочности бетона в процентах от марочной.

Имитационная модель объекта управления (пропарочной камеры) и системы программного управления тепловлажностной обработки ЖБИ разработана в программе VisSim и представлена на рисунке 1. Так как, процесс изменения температуры является медленным, в системе управления использован ПИ-регулятор. Настроенные параметры ПИ-регулятора получены в результате эксперимента. Для повышения качества управления к выходу ведущего ПИ-регулятора подключен ведомый П- регулятор. Таким образом, система управления является каскадной.



**Рисунок 1. Имитационная модель каскадной системы управления тепловлажностной обработкой ЖБИ**

Модель изменения температуры в пропарочной камере по карте технологического процесс выделена в отдельный блок TPROG и в развернутом виде приводится на рисунке 2.



**Рисунок 2. Алгоритм изменения температуры в пропарочной камере по технологической карте (задатчик САУ)**

### Список литературы:

1. Гершберг О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий: Издание третье, переработанное и дополненное, М/, 2001 г.

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ  
В ТУННЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОРУНДОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

***Грыжов Евгений Владимирович***

*зав. лабораторией систем управления и автоматизации  
технологических процессов, филиала «Московского государственного  
университета технологии и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма*

***Корольков Владимир Гаврилович***

*зав. лабораторией технических измерений и приборов,  
доцент кафедры естественно-научных и технических дисциплин,  
филиала «Московского государственного университета технологии  
и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма*

***Реут Владимир Антонович***

*канд. техн. наук, доцент кафедры естественно-научных  
и технических дисциплин филиала «Московского государственного  
университета технологии и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма  
E-mail: [dombr55@mail.ru](mailto:dombr55@mail.ru)*

# **SIMULATION MODEL OF THE TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN THE TUNNEL KILNS AT THE PRODUCTION OF CORUNDUM PRODUCTS**

***Evgeny Gryzhov***

*head of laboratory of systems control and automation of technological processes, of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovski, Russia, Smolensk region, Vyazma*

***Vladimir Korolkov***

*head of laboratory of technical measurings and devices, associate Professor of Natural-scientific and Technical disciplines department, of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovski, Russia, Smolensk region, Vyazma*

***Vladimir Reut***

*candidate of Science, associate Professor of Natural-scientific and Technical disciplines department, of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies and Management named after K.G. Razumovski, Russia, Smolensk region, Vyazma*

## **АННОТАЦИЯ**

В данной работе приводятся результаты имитационного моделирования системы управления температурой в туннельных печах в среде VisSim. Полученный в результате имитационного моделирования теоретический график зависимости значения температуры от номера позиции с высокой степенью точности совпадает с экспериментальными данными.

Представленная модель системы управления является открытой для дальнейших изменений и дополнений, что дает возможность для исследования и проектирования аналогичных систем управления.

## **ABSTRACT**

In this article the results of simulation modeling of the temperature control system in the tunnel kilns in VisSim media are given. The resulted simulation theoretical diagram of dependence of the temperature values from the number of position with a high degree of accuracy coincides with the experimental data. The presented model of the control system is opened to further changes and amendments, which gives an opportunity for investigation and design of similar control systems.

**Ключевые слова:** имитационная модель; контроллер; позиционное управление; ПИ-регуляторов; многомерный объект управления.

**Keywords:** simulation model; controller; positional control of PI regulators; a multidimensional object of control.

Для обжига корундовых огнеупоров используются высокотемпературные малогабаритные туннельные печи. Исследования работы малогабаритных туннельных печей показали, что их технико-экономические показатели могут быть улучшены за счет оптимального управления температурным режимом технологического процесса обжига.

При нагревании или охлаждении сплошного твердого тела вследствие неоднородности распределения температур в нем возникают напряжения, которые могут привести к разрушению. Величина напряжений зависит как от свойств материала (модуль упругости, коэффициента термического расширения, теплопроводности и других) условий нагрева (охлаждения), так и от формы тела. Высокая эффективность процесса обжига обеспечивается при реализации на печах скоростных режимов обжига, для чего необходимо знать допустимые параметры обжига изделий.

Проведенный промышленный эксперимент на Снегиревском производстве показал, что по характеру протекающих в туннельных печах процессов, печь можно разделить на три зоны, состоящие из отдельных позиций.

- с 1-й по 14 позицию — зона подогрева;
- с 15-й по 20 позицию — зона обжига;
- с 21-й по 26 позицию — зона охлаждения.

Из практики известно, что малогабаритная туннельная печь, оборудованная комбинированной системой отопления с инжекторным подводом горячего воздуха к горелкам, обеспечивает устойчивую работу при температуре обжига 1740—1780 °С и является объектом управления с очень большой инерционностью.

В данной статье приводятся результаты имитационного моделирования системы управления температурой в туннельных печах в среде VisSim.

В качестве исходных данных для моделирования взяты значения температуры обжига корундовых изделий в туннельной печи по каждой позиции в зонах нагрева, обжига и охлаждения, полученные в результате эксперимента (таблице 1).

На графике (рисунок 1) приводится экспериментальная кривая изменения значений температуры для всех позиций вагонетки.

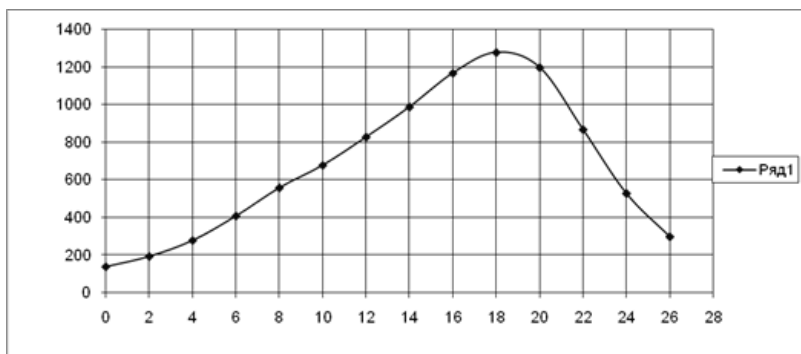
Эта кривая характеризует полный технологический цикл производства корундовых изделий, и температура соответствует установившемуся стационарному режиму, при котором значение температуры в каждой зоне остается неизменным.

*Таблица 1.*

**Результаты эксперимента**

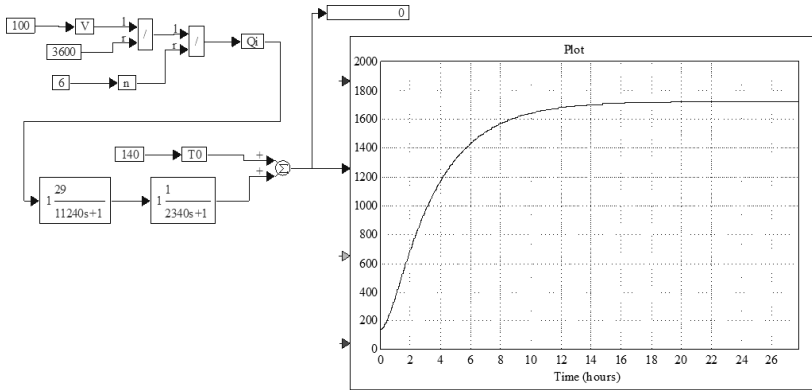
Позиция вагонетки	Температура каждой позиции °С
0	140
2	195
4	280
6	410
8	560
10	680
12	830
14	990
16	1170
18	1280
20	1200
22	870
24	530
26	300

Из графика видно, что значения температуры в зоне подогрева повышается от 140 °С до 1000 °С, в зоне обжига от 1000 °С до 1200 °С, и в зоне охлаждения от 1200 °С до 300 °С.



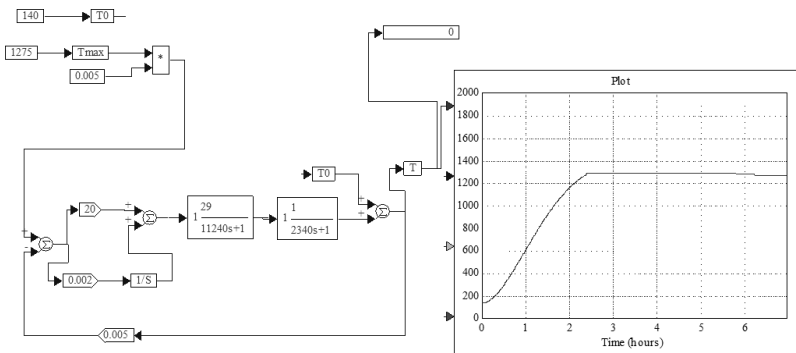
*Рисунок 1. Экспериментальная кривая изменения значений температуры*

На рисунке 2. представлены передаточная функция и график переходного процесса в одной позиции, находящейся в зоне обжига без системы автоматического управления и отключенной системы отбора воздуха. При подаче газа к горелкам в одной зоне с расходом  $100/6 \text{ м}^3/\text{час}$  температура на этой позиции возрастает от начального значения  $140^{\circ}\text{C}$  до  $1720^{\circ}\text{C}$  за время 18 часов.



**Рисунок 2. Передаточная функция и график переходного процесса в одной позиции**

На рисунке 3 представлена имитационная модель САУ температурой 18-ой позиции. При обжиге корундовых изделий эта позиция имеет максимальную температуру —  $1275^{\circ}\text{C}$ . Управление температурой этой позиции и всей зоны обжига производится контроллерами с оптимально настроенными параметрами ПИ- регуляторов.



**Рисунок 3. Имитационная модель САУ температурой**



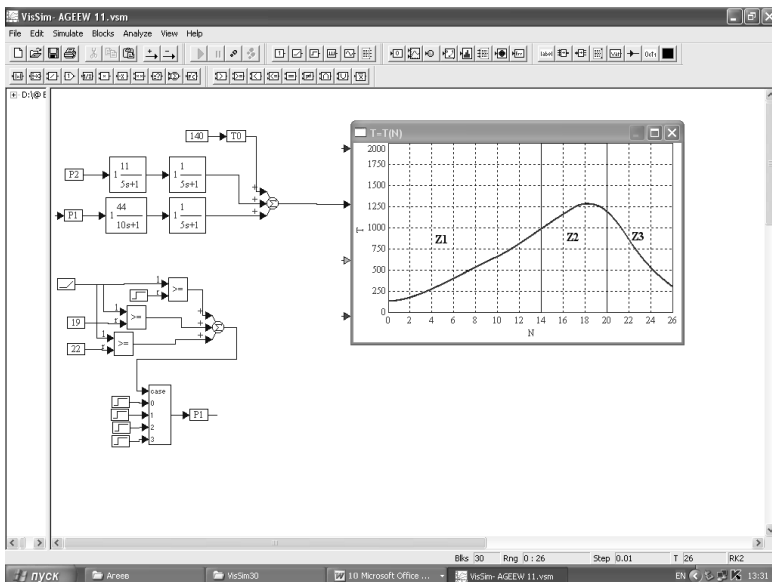
На рисунке 4 приводится имитационная модель зависимости значения температуры от номера позиции в технологическом процессе обжига.

Резльтирующая передаточная функция в туннельной печи сложная-составная и состоит из четырех передаточных функций. Топология соединения этих четырех звеньев параллельно-последовательное.

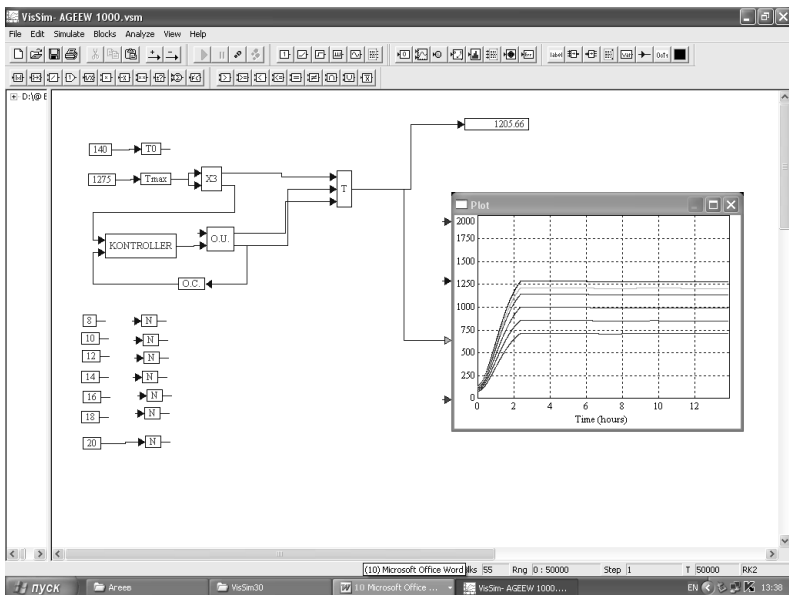
Таким образом, объект управления является многомерным, и соответственно, система управления также должна быть многоконтурной и многомерной.

На рисунке 5 на каждой позиции приведена схема повышения температуры в туннельной печи. Соответственно, технологический процесс в каждой зоне представлен своей передаточной функцией. Управление значениями температуры осуществляется с помощью многоканального контроллера (KONTROLLER).

Разработанная структура позиционного управления температурой обжига корундовых огнеупоров позволяет проводить имитационное моделирование в различных режимах с целью оптимизации технологического процесса, не прибегая к проведению экспериментов на реальных объектах.



**Рисунок 4. Имитационная модель зависимости значения температуры от номера позиции**



**Рисунок 5. Схема повышения температуры в туннельной печи**

Полученный в результате имитационного моделирования теоретический график зависимости значения температуры от номера позиции (изменение температуры по длине печи) с высокой степенью точности совпадает с экспериментальными данными (график на рисунке 5)

Представленная модель системы управления является открытой для дальнейших изменений и дополнений, что дает возможность для исследования и проектирования аналогичных систем управления.

### Список литературы:

1. Дюдкин Д.А., Ухин В.Е. Огнеупоры и их эксплуатация: Донецкий национальный технический университет, 2009 г.
2. Грызов В.К., Корольков В.Г. Система программного управления тепло-влажностной обработкой ЖБИ: Научные труды XIV Международной научно-методической конференции: «Стратегия развития образования: эффективность, инновации, качество», Москва: МГУТУ, 2008 г., Вып. 12.

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ДОЗИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА**

***Корольков Владимир Гаврилович***

*зав. лабораторией технических измерений и приборов,  
доцент кафедры естественно-научных и технических дисциплин,  
филиала «Московского государственного университета технологии  
и управления имени К.Г. Разумовского»  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма*

***Грыжов Владимир Константинович***

*канд. техн. наук, зав. кафедрой естественно-научных  
и технических дисциплин, доцент,  
филиала «Московского государственного университета технологии  
и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма*

***Акишинский Александр Дмитриевич***

*доцент кафедры естественно-научных и технических дисциплин,  
филиала «Московского государственного университета технологии  
и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма  
E-mail: [domb55@mail.ru](mailto:domb55@mail.ru)*

# THE SIMULATION MODEL OF THE SYSTEM CONTROL OF THE MIXED FODDER BATCHING PROCESS

**Vladimir Gavrilovich Korolkov**

*head of technical measurements and instruments laboratory,  
associate professor of science and engineering disciplines,  
of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies  
and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

**Vladimir Konstantinovich Gryzhov**

*PhD (engineering), head of the Department of science and engineering  
disciplines, Associate Professor, of Vyazma branch of Moscow State  
University of Technologies and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

**Alexander Dmitrievich Akshinski**

*associate professor of science and engineering disciplines,  
of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies  
and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

## АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты моделирования процесса дозирования компонент комбикормов в среде VisSim. Определены погрешности дозирования. Полученные результаты могут использоваться при проектировании любых процессов дозирования, а также в учебном процессе.

## ABSTRACT

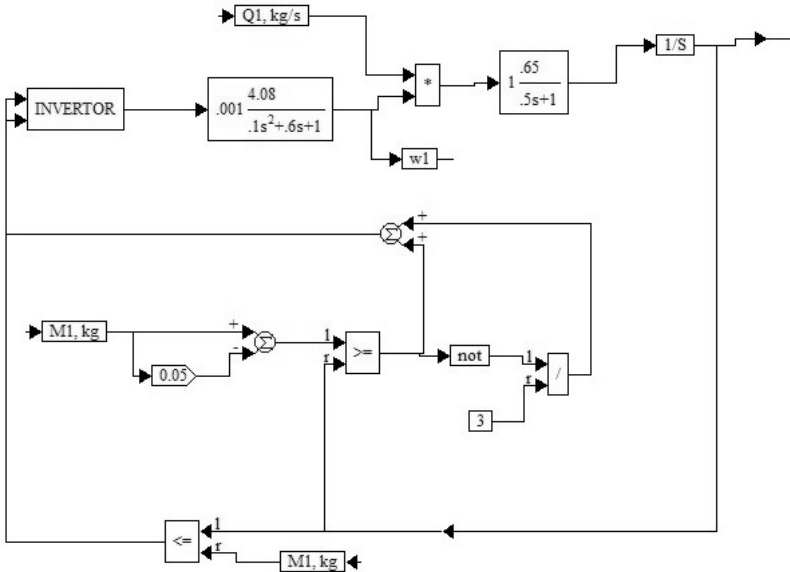
In the paper the results of the simulation of the mixed fodder components batching process in VisSim environment are presented. Batching errors are defined. The results obtained can be used in the design of any batching processes, as well as in the educational process.

**Ключевые слова:** дозирование; модель; система управления; передаточная функция; контроллер; инвертор.

**Keywords:** batching; control system; the transfer function; the controller; the inverter.

Автоматическая система управления процессом дозирования представляет многоблочную структуру. Количество блоков соответствует числу компонентов в комбикорме.

Модель процесса дозирования компонент наибольшей массы (в нашем случае зерно после дробилки) собрана из стандартных блоков в среде моделирования VisSim и представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1. Модель процесса дозирования**

Модель включает в себя:

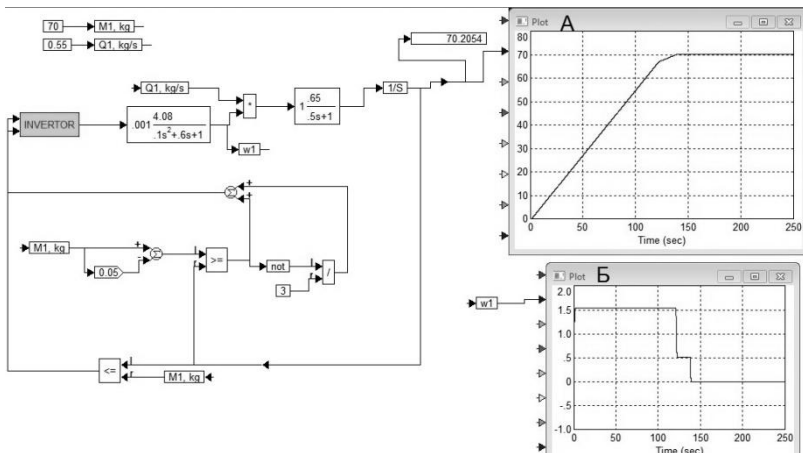
$$W(s) = 0,001 \frac{4,08}{0,1s^2 + 6s + 1}$$

- передаточную функцию трехфазного асинхронного малооборотного электродвигателя:

$$W(s) = 1 \frac{0,65}{0,5s + 1}$$

- передаточную функцию питательного шнека;  
и блок INVERTOR с плавно изменяющейся частотой подаваемого напряжения на электродвигатель.

В нижней части рисунка 2 представлена система управления процессом дозирования первой компоненты. По представленному алгоритму происходит обработка сигналов в процессоре контроллера.



**Рисунок 2. Модель процесса дозирования 1-й компоненты**

В зависимости от процентного содержания компоненты в готовом продукте (комбикорме) задается массы первой компоненты ( $M1, \text{kg}=70$ ) и расход компоненты на выходе шнека ( $Q1, \text{kg/s}=0,55$ ).

В установившемся режиме выходное значение массы вещества равно массе поступившего сырья. В этом режиме частота оборотов вала двигателя задается инвертором и составляет 1,55 Гц.

Блок «интегратор» ( $1/S$ ) описывает процесс накопления массы компоненты в бункере весов (рис. 2, диаграмма А).

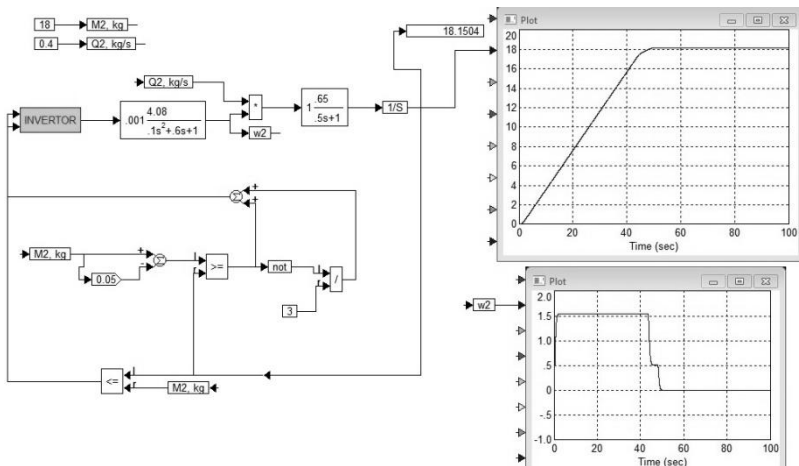
Для увеличения точности дозирования, когда значение массы в бункере весов составляет 95 % от заданного, система управления переводит процесс дозирования в режим довеса, уменьшая скорость (обороты) электродвигателя в три раза, то есть частота оборотов вала двигателя становится равной 0,51 Гц (рисунок 2, диаграмма Б).

На этом участке времени скорость поступления в бункер весов уменьшается (на рис. 2 на диаграмме А угол наклона графика уменьшается).

При достижении заданного значения массы первой компоненты  $M_1$ , сигнал от тензодатчиков поступает на инвертор, двигатель отключается и поступление вещества в бункер весов прекращается. На диаграмме А масса равна 70,2054 кг., а на диаграмме Б скорость вращения вала двигателя равна 0. Превышение значения выходной массы над задаваемой обусловлено инерционностью механической части системы.

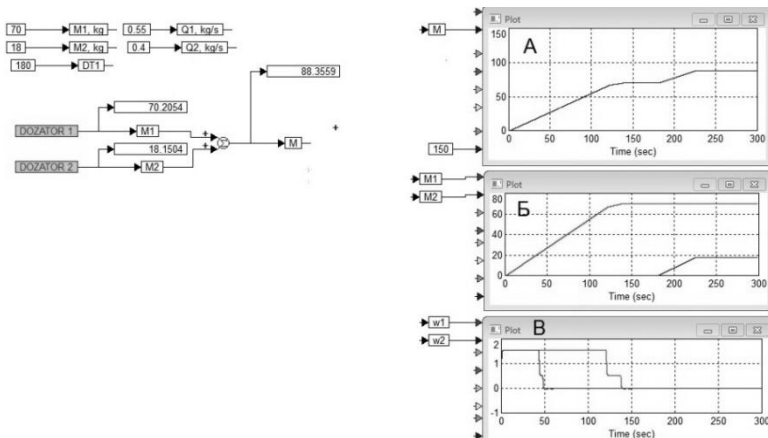
После загрузки первой компоненты в бункер весов происходит сбрасывание вещества в смеситель.

Загрузка следующих компонент производится аналогично. Для примера, на рисунке 3 для дозирования специальных добавок массой компоненты ( $M_2, \text{kg}=18$ ), расход компоненты на выходе шнека составляет  $Q_1, \text{kg/s}=0,4$ . В этом случае время заполнения бункера весов уменьшается, так как  $M_2 < M_1$ .



**Рисунок 3. Модель процесса дозирования 2-й компоненты**

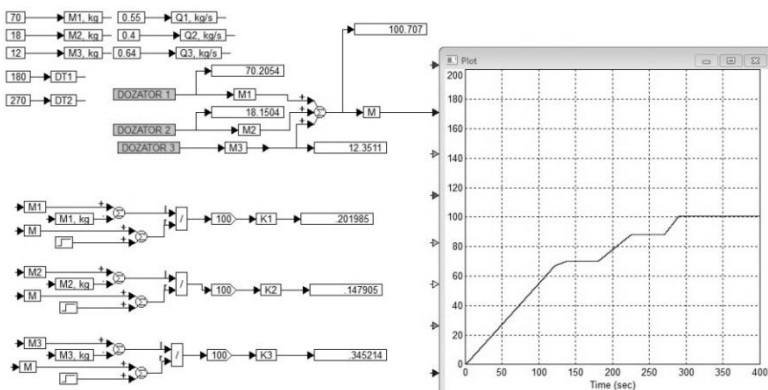
На рис. 4 представлен процесс дозирования двух компонент, разделенных во времени. Описанные имитационные модели дозаторов на рисунках 2 и 3 являются идентичными и на рисунке 4 представлены в виде составных блоков DOZATOR 1 и DOZATOR 2. Количество таких блоков определяется количеством компонент в смеси.



**Рисунок 4. Процесс дозирования двух компонент, разделенных во времени**

На диаграмме А показан процесс суммирования масс в смесителе, а на диаграмме Б представлены графики заполнения бункера весов по отдельности. На диаграмме В приводится рабочий график работы электродвигателя. На графике нулевые значения оборотов электродвигателя между процессами определяется временем технологического простоя.

На рисунке 5 представлен процесс дозирования и последовательного наполнения смесителя для трех компонент.



**Рисунок 5. Процесс дозирования и последовательного наполнения смесителя для трех компонент**



Полная масса, получаемой смеси должна составлять  $70+18+12 = 100$  кг. На практике полученная масса за этот цикл составляет 100,7 кг, то есть, общая погрешность дозирования 0,7 %, а погрешности по компонентам составляют:

1-я компонента — 0,2 %.

2-я компонента — 0,15 %.

3-я компонента — 0,35 %.

Алгоритм вычисления относительной погрешности содержания компонент в смеси представлен в нижней части рис. 5. Значения этих погрешностей не превышают принятых норм.

### **Список литературы:**

1. Грызов В.К., Корольков В.Г. Модель преобразователя сигналов для проектирования гибридных систем управления в среде VISSIM. Журнал «Автоматизация в промышленности», Москва., 2010 г., Вып. 7.
2. Карпин Е.Б. «Автоматизация технологических процессов пищевых производств» М., Агропромиздат, 2005 г.
3. Новицкий В.А., Сергунов В.С., Автоматизация производственных процессов на элеваторах и зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 2002.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ОБРАБОТКЕ АНКЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТ**

*Кузьмин Константин Анатольевич*

*канд. пед. наук, доцент кафедры естественно-научных  
и технических дисциплин, филиала «Московского государственного  
университета технологии и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма*

*Грызов Евгений Владимирович*

*зав. лабораторией систем управления и автоматизации  
технологических процессов, филиала «Московского государственного  
университета технологии и управления имени К.Г. Разумовского»,  
РФ, Смоленская область, г. Вязьма  
E-mail: [dombr55@mail.ru](mailto:dombr55@mail.ru)*

# APPLYING THE METHOD OF EXPERT ESTIMATIONS IN PROCESSING QUESTIONNAIRES OF BUILDING AND CONSTRUCTION WORKS EFFECTIVENESS

*Konstantin Anatolyevich Kuzmin*

*PhD (education), Department of science and engineering disciplines,  
Associate Professor, of Vyazma branch of Moscow State University  
of Technologies and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

*Eugeni Vladimirovich Gryzhov*

*head of technological processes automation and control systems,  
of Vyazma branch of Moscow State University of Technologies  
and Management named after K.G. Razumovski,  
Russia, Smolensk region, Vyazma*

## АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено применение статистических методов при обработке анкет на примере определения факторного пространства, влияющего на эффективность при проведении строительно-монтажных работ. Рассчитан коэффициент конкордации при определении согласованности мнений экспертов.

## ABSTRACT

The article considers the use of statistical methods for processing the questionnaires on the example of the definition of the factor space affecting the efficiency of construction and Assembly works. The coefficient of concordance in determining the consistency of experts' opinion is calculated.

**Ключевые слова:** статистические методы; анкетирование; коэффициент конкордации; строительно-монтажные работы.

**Keywords:** statistical methods; questionnaire survey, the coefficient of concordance; construction and Assembly works.

Статистические методы исследования широко применяются на практике. Рассмотрим пример определения факторного пространства, влияющего на эффективность ведения строительно-монтажных работ (СМР) при восстановлении зданий. Применим экспертный анализ, основанный на методе экспертных оценок. Метод экспертных оценок — один из эвристических методов, которые применяются тогда, когда затруднено нахождение решения математи-

ческими методами. Сущность метода заключается в изучении и систематизации мнений экспертов (специалистов определенной сферы деятельности) при помощи анкетирования.

Рассчитаем минимальное количество экспертов, исходя из заданной достоверности результата ( $p=0,95$ ), определяется по уравнению 1:

$$m = \frac{h^2 \cdot r_a \cdot r_0}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где:  $h$  — доверительный коэффициент (0,95);

$r_a$  — доля элементов выборки с наличием заданного признака;

$r_0$  — доля элементов выборки с отсутствием заданного признака (0,1);

$\Delta$  — ошибка репрезентативности (0,05).

$$m = \frac{0,95^2 \cdot 0,95 \cdot 0,1}{0,05^2} = 34 \text{ чел} \quad (2)$$

По данным проведенных исследований была сформирована группа экспертов в количестве 40 человек:

- специалисты в области организации, технологии и управления строительством, имеющих большой стаж работы на занимаемой должности, а также большой производственный стаж;
- линейные инженерно-технические работники (ИТР);
- технологи по выполнению ремонтных работ и реконструкции;
- научные сотрудники МЧС.

На рассмотрение экспертам был представлен перечень факторов по каждой группе, по которым могут происходить различные отказы и сбои, которые в свою очередь влияют на эффективность выполнения СМР (таблица 1.)

Таблица 1.

Основные дестабилизирующие факторы

№ п/п	Группа факторов	Виды факторов	Характер влияния факторов
1	2	3	4
1	<b>Особенности конструктивной схемы</b>	X1 — временное разгружение поврежденных и восстанавливаемых конструкций; X2 — разборка и сноса поврежденных зданий и их элементов.	Вызывают дополнительные трудовые и материально-технические затраты
2	<b>Влияние ограниченности рабочей зоны восстанавливаемых объектов</b>	X3 — стесненность фронта выполнения работ; X4 — сужение режимов работ и ограниченность использования строительной техники; X5 — недостаточная пропускная способность дорог для производства ВР и основного производства; X6 — ограниченность размещения складов, мастерских, инвентарных сооружений; X7 — ограничения по доставке строительных машин, невозможность использования машин из-за отсутствия площадки для приведения техники в рабочее положение.	Вызывают дополнительные трудовые и материально-технические затраты
3	<b>Дополнительные требования по охране труда</b>	X8 — опасность обрушения конструкции (элемента); X9 — вредное воздействие внешней среды; X10 — превышение установленных норм санитарно-гигиенической среды;	Снижает интенсивность работ, производительность труда, увеличивает сменность

4	<b>Вынужденные технологические перерывы и дополнительные затраты времени</b>	X11 — вынужденные перерывы в строительных работах;	Снижает производительность труда
		X12 — простои из-за недостатка энергетических ресурсов;	Вызывает дополнительные трудовые затраты
		X13 — простои из-за недостатка квалифицированных машинистов строительных машин;	Снижает производительность труда и вызывает дополнительное использование средств механизации и приспособлений
		X14 — ограничения в поставках строительных материалов и конструкций;	Снижает производительность труда и вызывает дополнительные затраты
		X15 — простои из-за недостатка ИТР и квалифицированных рабочих кадров;	Снижает производительность труда
		X16 — нерациональное использование трудовых ресурсов;	Снижает производительность труда
		X17 — простои из-за несвоевременного предоставления очередного фронта работ;	Снижает интенсивность работ, производительность труда, требует увеличения сменности работ

Для выбора ограниченного круга значимых факторов экспертам предлагалось проранжировать данные группы факторов, а также указать поправочные коэффициенты для основных СМР, учитывающих влияние дестабилизирующих факторов.

По результатам мнений экспертов были установлены:

- суммы присвоенных баллов  $S_p$ :

$$S_p = \sum_{i=1}^m b_{ij}, \quad (3)$$

где:  $m$  — количество экспертов;

$b_{ij}$  — оценочный балл в ранжированном ряду;

$i$  — номер фактора;

$j$  — номер, присвоенный эксперту.

- средние суммы рангов  $T_p$  при  $n$  факторах:

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}}{n} \quad (4)$$

- отклонения  $J_i$  от средней суммы рангов:

$$J_i = S_p - T_p \quad (5)$$

Для количественной оценки степени согласованности мнений всех специалистов определялись коэффициенты конкордации:

$$W = \frac{12 * \sum_{i=1}^m D_i^2}{m^2 \cdot (n^3 - n)}, \quad (6)$$

где:  $D_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} - \frac{m(n+1)}{2}$  (7) — отклонение суммы рангов по  $i$ -му

признаку от средней,  $d_i = S_i - S$ ;

$n$  — количество экспертов;

$m$  — количество ранжируемых признаков;

$S_i$  — сумма рангов по  $i$ -му признаку;

$S$  — средняя сумма рангов,  $S = \frac{(m+1)}{2} \cdot n$

Расчет всех этих значений осуществлялся на ЭВМ с использованием стандартных программ, которые позволили получить следующее значение коэффициента конкордации  $W_k$ , который составил величину, равную 0,839.

Значимость коэффициентов конкордации оценивалось по критерию Пирсона, так как они носят случайный характер.

Таким образом, с вероятностью 95% можно утверждать о существовании определенной согласованности специалистов относительно степени влияния различных факторов на эффективность деятельности строительных предприятий.

Отбор значимых факторов из общей совокупности осуществлялся по среднему рангу  $b$ . С этой целью строилась средняя априорная диаграмма. Средний ранг определялся по следующей формуле:

$$b = \frac{b_{ij}^{\max} + b_{ij}^{\min}}{2} \quad (8)$$

$b_{ij}^{max}$  — максимальный оценочный балл в ранжировочном ряду;

$b_{ij}^{min}$  — минимальный оценочный балл в ранжировочном ряду.

Факторы, для которых степень влияния  $d < 50\%$ , из дальнейшего рассмотрения исключались. Учет остальных факторов, не вошедших в группу значимых, осуществлялся путем наложения на них ограничений

На основании анализа мнений экспертов были рассчитаны средневзвешенные значения весомостей факторов по блокам факторного пространства.

### **Список литературы:**

1. Абрамов Л.И., Манаенкова Э.А. «Организация и планирование строительного производства». М., Стройиздат, 1990.
2. Аверин В.Г. Повышение эффективности функционирования службы заказчика-застройщика: диссертация...кандидата экономических наук: 08.00.05. Воронеж, 2004. — 126 с.
3. Васильев В.М. Управление строительным производством. М., Стройиздат, 1990.
4. Васильев В.М., Панибратов Ю.П. и др. Управление в строительстве. М., АСВ, 1994.
5. Прыкин Б.В., Иш В.Г., Ширшиков Б.Ф. Основы управления производственно-строительными системами. М., Стройиздат, 1991.

## СЕКЦИЯ 3.

### ФИЗИКА

#### 3.1. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

#### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ИЗГИБА КРУГЛЫХ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН С НЕЛИНЕЙНО-УПРУГИМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

*Кудин Алексей Владимирович*

*преподаватель Экономико-юридического колледжа  
Запорожского национального университета,  
Украина, г. Запорожье  
E-mail: [avk256@gmail.com](mailto:avk256@gmail.com)*

#### SOLUTION FOR AXISYMMETRIC BENDING OF CIRCULAR SANDWICH PLATES WITH NONLINEAR-ELASTIC CORE

*Alexey Kudin*

*teacher of Economics and Law College  
of Zaporizhzhya National University,  
Ukraine, Zaporizhzhya*

#### АННОТАЦИЯ

Предложены уравнения изгиба трехслойных круглых пластин симметричного строения с изотропными наружными слоями и нелинейно-упругим заполнителем. Получено аналитическое решение задачи осесимметричного поперечного изгиба трехслойной круглой пластины в линейной и нелинейной постановке. В качестве примера,



рассмотрена задача осесимметричного поперечного изгиба трехслойной круглой пластинки, а также задача осесимметричного поперечного изгиба однослойной пластины в линейной постановке.

#### ABSTRACT

There are proposed round three-ply plate equations of symmetric structure with isotropic outer layers and nonlinear elastic core. An analytical solution to the problem of axisymmetric cross-bending of a round three-ply plate in a linear and nonlinear setting has been obtained. As an example there are considered the problem of axisymmetric cross-bending of a round three-ply plate and also the problem of axisymmetric cross-bending of a one-ply plate in a linear setting.

**Ключевые слова:** круглая трехслойная пластинка; осесимметричный изгиб; уравнение Бесселя.

**Keywords:** round three-ply plate, axisymmetric bending, Bessel's equation.

**Введение.** Трехслойные элементы конструкций широко применяются в авиа и судостроении, космической промышленности, гражданском строительстве, радиоэлектронике и др. отраслях промышленности. Поэтому актуальной является проблема разработки эффективных методов расчета напряженно-деформированного состояния трехслойных элементов конструкций, а также обобщения классических теорий с применением уточненных моделей, отражающих поведение современных материалов.

В настоящей работе приводится вариант уравнений изгиба трехслойных пластин симметричного строения с изотропными наружными слоями и нелинейно-упругим по [4] материалом заполнителя (аналитическая модель). Получено аналитическое решение уравнений аналитической модели путем сведения к уравнению Бесселя.

На примере задачи осесимметричного поперечного изгиба трехслойной круглой пластинки проводится сравнение аналитической модели с известными работами [2, 7, 8]. В качестве частного случая решена задача осесимметричного поперечного изгиба однослойной пластины в линейной постановке; результаты сравниваются с [10].

**Напряженное состояние пластинки.** Рассмотрим круглую трехслойную пластинку, которая подвергается воздействию произвольной поперечной нагрузки  $q(r, \varphi)$ . Внешние слои пластинки толщинами  $\delta_1$  и  $\delta_2$  изготовлены из изотропных материалов, подчиняющихся закону Гука, средний слой пластины

толщиной  $2h$  выполнен из нелинейно-упругого изотропного материала.

Для внешних слоев, вследствие их малой толщины, принимается гипотеза Кирхгофа-Лява. Напряженное состояние в этих слоях определяется законом Гука [1]

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_r + \mu\varepsilon_\varphi), \quad \sigma_\varphi = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_\varphi + \mu\varepsilon_r), \\ \tau_{r\varphi} &= G\varepsilon_{r\varphi}, \\ \sigma_r^* &= \frac{E^*}{1-(\mu^*)^2}(\varepsilon_r^* + \mu^*\varepsilon_\varphi^*), \quad \sigma_\varphi^* = \frac{E^*}{1-(\mu^*)^2}(\varepsilon_\varphi^* + \mu^*\varepsilon_r^*), \\ \tau_{r\varphi}^* &= G^*\varepsilon_{r\varphi}^*,\end{aligned}\quad (1)$$

где:  $E$ ,  $G$ ,  $\mu$  — модуль упругости, модуль сдвига и коэффициент Пуассона соответственно материала слоя  $h \leq z \leq h + \delta_1$ . Индекс (\*) в (1) относится к механическим характеристикам материала слоя  $-h - \delta_2 \leq z \leq -h$ .

Напряженное состояние в среднем слое определяется выражениями [4]

$$\begin{aligned}\tilde{\sigma}_r &= 3\tilde{K}(1 + \chi_2\varepsilon_0^2)\varepsilon_0 + 2\tilde{G}(1 + \gamma_2\psi_0^2)(\tilde{\varepsilon}_r - \varepsilon_0), \\ \tilde{\sigma}_\varphi &= 3\tilde{K}(1 + \chi_2\varepsilon_0^2)\varepsilon_0 + 2\tilde{G}(1 + \gamma_2\psi_0^2)(\tilde{\varepsilon}_\varphi - \varepsilon_0), \\ \tilde{\tau}_{r\varphi} &= \tilde{G}(1 + \gamma_2\psi_0^2)\tilde{\varepsilon}_{r\varphi}, \quad \tilde{\tau}_{rz} = \tilde{G}(1 + \gamma_2\psi_0^2)\tilde{\varepsilon}_{rz}, \\ \tilde{\tau}_{\varphi z} &= \tilde{G}(1 + \gamma_2\psi_0^2)\tilde{\varepsilon}_{\varphi z}.\end{aligned}\quad (2)$$

В (2) обозначено:  $\tilde{G}$ ,  $\tilde{K}$ , — модули сдвига и объемной деформации материала;  $\varepsilon_0$ ,  $\psi_0^2$  — среднее относительное удлинение и интенсивность деформаций.

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{3}(\tilde{\varepsilon}_r + \tilde{\varepsilon}_\varphi + \tilde{\varepsilon}_z),$$

$$\psi_0^2 = \frac{8}{9}(\tilde{\varepsilon}_r^2 + \tilde{\varepsilon}_\varphi^2 + \tilde{\varepsilon}_z^2 - \tilde{\varepsilon}_r\tilde{\varepsilon}_\varphi - \tilde{\varepsilon}_\varphi\tilde{\varepsilon}_z - \tilde{\varepsilon}_z\tilde{\varepsilon}_r) +$$

$$+ \frac{2}{3}(\tilde{\varepsilon}_{r\varphi}^2 + \tilde{\varepsilon}_{rz}^2 + \tilde{\varepsilon}_{\varphi z}^2)$$

$$\tilde{\varepsilon}_z = -\frac{\tilde{\mu}}{1-\tilde{\mu}}(\tilde{\varepsilon}_r + \tilde{\varepsilon}_\varphi), \quad \tilde{\mu} = \frac{1}{2} \frac{3\tilde{K} - 2\tilde{G}}{3\tilde{K} + \tilde{G}}.$$

Параметр  $\gamma_2$  характеризует изменение формы элемента конструкции в нелинейно-упругой стадии его деформирования, определяется экспериментально согласно [4]; параметр  $\chi_2$  характеризует изменение объема элемента.

**Перемещения и деформации пластинки.** Деформированное состояние пластинки определяется радиальными перемещениями  $u_i(r, \varphi)$ , угловыми перемещениями  $v_i(r, \varphi)$  точек срединных плоскостей внешних слоев ( $i = 1, 2$ ) и прогибом  $w(r, \varphi)$ .

Исходя из принятых гипотез, перемещения запишутся аналогично [9].

$$\left\{ \begin{array}{l}
u(r, \varphi, z) = u_1(r, \varphi) + \left( z - h - \frac{\delta_1}{2} \right) w_{,r}, \quad h \leq z \leq h + \delta_1, \\
u^*(r, \varphi, z) = u_2(r, \varphi, z) + \left( z + h + \frac{\delta_2}{2} \right) w_{,r}, \quad -h - \delta_2 \leq z \leq -h, \\
\tilde{u}(r, \varphi, z) = u_1(r, \varphi) a_1(z) + u_2(r, \varphi) a_2(z) + c_0^*(z) w_{,r}, \quad -h \leq z \leq h, \\
v(r, \varphi, z) = v_1(r, \varphi) + \left( z - h - \frac{\delta_1}{2} \right) \frac{w_{,\varphi}}{r}, \quad h \leq z \leq h + \delta_1, \\
v^*(r, \varphi, z) = v_2(r, \varphi, z) + \left( z + h + \frac{\delta_2}{2} \right) \frac{w_{,\varphi}}{r}, \quad -h - \delta_2 \leq z \leq -h, \\
\tilde{v}(r, \varphi, z) = v_1(r, \varphi) b_1(z) + v_2(r, \varphi) b_2(z) + c_0^{**}(z) \frac{w_{,\varphi}}{r}, \quad -h \leq z \leq h.
\end{array} \right. \quad (3)$$

В (3) согласно [9] обозначено:

$$\begin{aligned}
a_1(z) &= 1 + \alpha_2(z), \quad a_2(z) = -\alpha_2(z), \\
c_0^*(z) &= \lambda_3(z) - \alpha\alpha_2(z), \quad c_0^{**}(z) = \lambda_3(z) - \alpha\alpha_3(z), \\
b_1(z) &= 1 + \alpha_3(z), \quad b_2(z) = -\alpha_3(z), \quad \lambda_3(z) = z - h - \frac{\delta_1}{2}, \\
\alpha &= 2h + \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}, \quad \alpha_2(z) = \frac{\Phi_1(z) - \Phi_1(h)}{\Phi_1(h) - \Phi_1(-h)}, \\
\alpha_3(z) &= \frac{\Phi_2(z) - \Phi_2(h)}{\Phi_2(h) - \Phi_2(-h)}, \\
\Phi_1(z) &= \frac{1}{\bar{G}} f_1(z), \quad \Phi_2(z) = \frac{1}{\bar{G}} f_2(z).
\end{aligned}$$

Функции  $f_{1,z}(z)$ ,  $f_{2,z}(z)$  задают законы изменения тангенциальных напряжений  $\tilde{\tau}_{xz}$  и  $\tilde{\tau}_{yz}$  по толщине среднего слоя.

Относительные деформации представим в виде [4].

Для слоя  $h \leq z \leq h + \delta_1$ :

$$\varepsilon_r = u_{,r}, \quad \varepsilon_\varphi = \frac{1}{r} v_{,\varphi} + \frac{u}{r}, \quad \varepsilon_{r\varphi} = \frac{1}{r} u_{,\varphi} + v_{,r} - \frac{v}{r};$$

для слоя  $-h - \delta_2 \leq z \leq -h$ :

$$\varepsilon_r^* = u_{,r}^*, \quad \varepsilon_\varphi^* = \frac{1}{r} v_{,\varphi}^* + \frac{u^*}{r}, \quad \varepsilon_{r\varphi}^* = \frac{1}{r} u_{,\varphi}^* + v_{,r}^* - \frac{v^*}{r};$$

для слоя  $-h \leq z \leq h$ :

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_r &= \tilde{u}_{,r}, \quad \tilde{\varepsilon}_\varphi = \frac{1}{r} \tilde{v}_{,\varphi} + \frac{\tilde{u}}{r}, \quad \tilde{\varepsilon}_{r\varphi} = \frac{1}{r} \tilde{u}_{,\varphi} + \tilde{v}_{,r} - \frac{\tilde{v}}{r}, \\ \tilde{\varepsilon}_{rz} &= \tilde{u}_{,z} + w_{,r}, \quad \tilde{\varepsilon}_{\varphi z} = \tilde{v}_{,z} + \frac{1}{r} w_{,\varphi}. \end{aligned}$$

Для получения дифференциальных уравнений равновесия используется вариационный принцип Лагранжа аналогично [1111].

**Уравнения равновесия для осесимметричного изгиба.**

Рассмотрим далее задачу осесимметричного поперечного изгиба круглой трехслойной пластины. Пусть поперечная нагрузка  $q(r)$  равномерно распределена симметрично относительно оси, проходящей через центр пластины. Внешние слои имеют равную толщину  $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ .

Принимая во внимание симметрию деформированного состояния пластины и отсутствие угловых перемещений в данной постановке задачи ( $u_1 = -u_2 = u$ ,  $v_1 = -v_2 = v = 0$ ), нелинейные дифференциальные уравнения равновесия примут вид

$$\begin{aligned}
& B_{11}w_{,rrr} + B_{12}w_{,rr} + B_{13}u_{,rr} + \\
& + B_{14}w_{,r} + B_{15}u_{,r} + B_{16}u(r) + \Phi_1 = 0' \\
& B_{21}w_{,rrrr} + B_{22}w_{,rrr} + B_{23}u_{,rrr} + B_{24}w_{,rr} + B_{25}u_{,rr} + \\
& + B_{26}w_{,r} + B_{27}u_{,r} + B_{28}u(r) - rq + \Phi_2 = 0. \quad (4)
\end{aligned}$$

Нелинейные члены уравнений (4)  $\Phi_1, \Phi_2$  и коэффициенты приведены в [6], здесь не приводятся ввиду их громоздкости.

Граничные условия для свободного опирания имеют вид [8]

$$\begin{aligned}
w(r) = 0, \quad w_{,rr} + \frac{\mu}{r}w_{,r} = 0, \quad u_{,r} + \frac{\mu}{r}u(r) = 0 \\
\text{при } r = R. \quad (5)
\end{aligned}$$

Граничные условия при защемлении на контуре имеют вид [8]

$$w(r) = 0, \quad w_{,r} = 0, \quad u(r) = 0 \quad \text{при } r = R. \quad (6)$$

Полученные уравнения (4) и граничные условия (5), (6) будем далее называть аналитической моделью.

Одним из подходов к решению системы нелинейных уравнений (4) является метод разложения по малому параметру [4], который позволяет рассматривать нелинейные задачи как последовательность уточняющих друг друга решений систем линейных уравнений. Выделим из нелинейных слагаемых системы малый физический параметр  $\lambda$ , связанный с механическими характеристиками нелинейно-упругого среднего слоя соотношением

$$\lambda = \frac{\gamma_2}{(3\tilde{K} + 4\tilde{G})^3},$$

перемещения представим в виде рядов (7)

$$u(r) = u_0(r) + \sum_{i=1}^n \lambda^i u_i(r); \quad w(r) = w_0(r) + \sum_{i=1}^n \lambda^i w_i(r). \quad (7)$$

Подставляя (7) в (4) и группируя коэффициенты по степеням параметра  $\lambda$ , получаем системы уравнений нулевого и последующих приближений разложения искомых перемещений по малому параметру.

Система уравнений нулевого приближения (линейно-упругая постановка задачи) имеет вид

$$\begin{aligned} & B_{11}w_{0,rrr} + B_{12}w_{0,rr} + B_{13}u_{0,rr} + \\ & + B_{14}w_{0,r} + B_{15}u_{0,r} + B_{16}u_0(r) = 0', \\ & B_{21}w_{0,rrrr} + B_{22}w_{0,rrr} + B_{23}u_{0,rrr} + B_{24}w_{0,rr} + B_{25}u_{0,rr} + \\ & + B_{26}w_{0,r} + B_{27}u_{0,r} + B_{28}u_0(r) - rq = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Первое и последующие приближения запишем в компактной форме, аналогично [6]

$$\begin{aligned} & B_{11}w_{i,rrr} + B_{12}w_{i,rr} + B_{13}u_{i,rr} + \\ & + B_{14}w_{i,r} + B_{15}u_{i,r} + B_{16}u_i(r) = \Psi_{1i}', \\ & B_{21}w_{i,rrrr} + B_{22}w_{i,rrr} + B_{23}u_{i,rrr} + B_{24}w_{i,rr} + B_{25}u_{i,rr} + \\ & + B_{26}w_{i,r} + B_{27}u_{i,r} + B_{28}u_i(r) = \Psi_{2i}. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь через  $\Psi_{1i}$  и  $\Psi_{2i}$  обозначены нелинейные части уравнений.

**Решение систем дифференциальных уравнений.** Учитывая соотношения между коэффициентами уравнений (8) [6], уравнения (8) можно переписать следующим образом:

$$\begin{aligned}
& B_{12} \left( rw_{0,rrr} + w_{0,rr} - \frac{1}{r} w_{0,r} \right) + \\
& + B_{15} \left( ru_{0,rr} + u_{0,r} - \frac{u_0(r)}{r} \right) + \\
& + rB_{141}w_{0,r} + rB_{161}u_0(r) = 0, \\
& \left( -\frac{\delta^2}{2} B_{151} - \frac{\delta^2}{6} B_{152} \right) \left( rw_{0,rrrr} + 2w_{0,rrr} - \frac{1}{r} w_{0,rr} + \frac{1}{r^2} w_{0,r} \right) + \\
& + (-2B_{12}) \left( ru_{0,rrr} + 2u_{0,rr} - \frac{1}{r} u_{0,r} + \frac{u_0(r)}{r^2} \right) + \\
& + (-B_{141}) \left( (2h - \delta)(rw_{0,rr} + w_{0,r}) + 2(ru_{0,r} + u_0(r)) \right) = qr.
\end{aligned} \tag{10}$$

Введем следующие операторы произвольной функции  $g(r)$  :

$$\begin{aligned}
L(g) &= \left( \frac{1}{r} (rg) \right)_{,r} = g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2} \\
L_1(g) &= rL(g) = rg_{,rr} + g_{,r} - \frac{g}{r}, \\
L_2(g) &= (L_1(g))_{,r} = rg_{,rrr} + 2g_{,rr} - \frac{g_{,r}}{r} + \frac{g}{r^2}, \\
L_3(g) &= rg, \\
L_4(g) &= (L_3(g))_{,r} = rg_{,r} + g.
\end{aligned} \tag{11}$$

Используя операторы (11), уравнения (10) запишутся следующим образом

$$L_1 \left( -\frac{\delta}{2} B_{151} w_{0,r} + B_{15} u_0 \right) + L_3 \left( B_{141} w_{0,r} + \frac{2}{2h - \delta} B_{141} u_0 \right) = 0.$$



$$L_2 \left( -\frac{\delta^2}{6} (3B_{151} + B_{152}) w_{0,r} + \delta B_{151} u_0 \right) + \\ + L_4 \left( -B_{141} (2h - \delta) w_{0,r} + (-2) B_{141} u_0 \right) = rq.$$

Проинтегрируем второе уравнение. Система примет вид

$$L_1 \left( -\frac{\delta}{2} B_{151} w_{0,r} + B_{15} u_0 \right) + L_3 \left( B_{141} w_{0,r} + \frac{2}{2h - \delta} B_{141} u_0 \right) = 0 \\ , \\ L_1 \left( -\frac{\delta^2}{6} (3B_{151} + B_{152}) w_{0,r} + \delta B_{151} u_0 \right) + \\ + L_3 \left( -B_{141} (2h - \delta) w_{0,r} + (-2) B_{141} u_0 \right) = \frac{qr^2}{2} + C_1. \quad (12)$$

Домножим первое уравнение системы (12) на  $(2h - \delta)$  и прибавим к второму. Второе уравнение примет вид

$$L_1 \left( \left( -\delta h B_{151} - \frac{\delta^2}{6} B_{152} \right) w_{0,r} + \right. \\ \left. + (2h B_{151} + (2h - \delta) B_{152}) u_0 \right) = \frac{qr^2}{2} + C_1.$$

Проинтегрируем дважды последнее уравнение:

$$\left( -\delta h B_{151} - \frac{\delta^2}{6} B_{152} \right) w_{0,r} + (2h B_{151} + (2h - \delta) B_{152}) u_0 = \\ = \frac{1}{r} \int \left( r \int \left( \frac{qr}{2} + \frac{C_1}{r} \right) dr \right) dr.$$

Или

$$D_1 w_{0,r} + D_2 u_0 = \xi_0(r). \quad (13)$$

Здесь

$$D_1 = \left( -\delta h B_{151} - \frac{\delta^2}{6} B_{152} \right), \quad D_2 = (2h B_{151} + (2h - \delta) B_{152}),$$

$$\xi_0(r) = \frac{1}{r} \int \left( r \int \left( \frac{qr}{2} + \frac{C_1}{r} \right) dr \right) dr =$$

$$= \frac{qr^3}{16} + \frac{1}{4} C_1 r (2 \ln(r) - 1) + \frac{1}{2} C_2 r + \frac{1}{r} C_3$$

Выразим из уравнения (13) функцию  $w_{0,r}$  и подставим в первое уравнение системы (12):

$$L_1 \left( -\frac{\delta}{2} B_{151} \left( \frac{\xi_0(r) - D_2 u_0}{D_1} \right) + B_{151} u_0 \right) +$$

$$+ L_3 \left( B_{141} \left( \frac{\xi_0(r) - D_2 u_0}{D_1} \right) + \frac{2}{2h - \delta} B_{141} u_0 \right) = 0.$$

Откуда следует уравнение

$$L_1 \left( \left( \frac{B_{152} 2D_1 + \delta B_{151} D_2}{2D_1} \right) u_0 \right) + L_3 \left( B_{141} \left( \frac{2}{2h - \delta} - \frac{D_2}{D_1} \right) u_0 \right) =$$

$$= L_1 \left( \frac{\delta B_{151}}{2D_1} \xi_0(r) \right) - L_3 \left( \frac{B_{141}}{D_1} \xi_0(r) \right),$$

которое можно сократить на  $r$

$$\begin{aligned} L\left(\left(\frac{B_{15}2D_1 + \delta B_{151}D_2}{2D_1}\right)u_0\right) + B_{141}\left(\frac{2}{2h - \delta} - \frac{D_2}{D_1}\right)u_0 = \\ = L\left(\frac{\delta B_{151}}{2D_1}\xi_0(r)\right) - \frac{B_{141}}{D_1}\xi_0(r). \end{aligned}$$

Из этого уравнения следует неоднородное модифицированное уравнение Бесселя

$$L(u_0) - \beta^2 u_0 = \eta_0(r), \quad (14)$$

где

$$\begin{aligned} \beta^2 = -B_{141}\left(\frac{2}{2h - \delta} - \frac{D_2}{D_1}\right)\frac{2D_1}{B_{15}2D_1 + \delta B_{151}D_2}, \\ \eta_0(r) = \left(L\left(\frac{\delta B_{151}}{2D_1}\xi_0(r)\right) - \frac{B_{141}}{D_1}\xi_0(r)\right)\frac{2D_1}{B_{15}2D_1 + \delta B_{151}D_2}. \end{aligned}$$

Решение уравнения (14) можно представить в виде суммы общего решения соответствующего однородного уравнения  $u_{00}$  и частного решения  $u_{01}$  неоднородного уравнения

$$u_0 = u_{00} + u_{01}.$$

Решение однородного уравнения

$$L(u_0) - \beta^2 u_0 = 0$$

Известно [2]:

$$u_{00} = C_4 I_1(\beta r) + C_5 K_1(\beta r). \quad (15)$$

Здесь  $I_1(\beta r)$  — модифицированная — функция Бесселя первого порядка,  $K_1(\beta r)$  — функция Макдональда первого порядка.

Как известно из теории линейных дифференциальных уравнений второго порядка, частное решение уравнения можно получить, используя два линейно независимых решения соответствующего однородного уравнения [2, 3].

$$u_{01} = K_1(\beta r) \int \frac{I_1(\beta r) \eta_0(r)}{W} dr - I_1(\beta r) \int \frac{K_1(\beta r) \eta_0(r)}{W} dr, \quad (16)$$

где  $W$  — определитель Вронского, который равен [5]

$$W\{I_1, K_1\} = K_{1,r} I_1 - I_{1,r} K_1 = -\frac{1}{r}.$$

Таким образом, частное решение (16) в рассматриваемом случае принимает вид

$$u_{01} = -K_1(\beta r) \int I_1(\beta r) \eta_0(r) r dr + I_1(\beta r) \int K_1(\beta r) \eta_0(r) r dr. \quad (17)$$

Суммируя (15) и (17), получаем искомое решение для перемещения  $u_0$ . В результате имеем следующее решение задачи об осесимметричном изгибе трехслойной круглой пластины.

$$\begin{aligned} u_0 = & C_4 I_1(\beta r) + C_5 K_1(\beta r) - K_1(\beta r) \int I_1(\beta r) \eta_0(r) r dr + \\ & + I_1(\beta r) \int K_1(\beta r) \eta_0(r) r dr, \\ w_0 = & \int \frac{\xi(r) - D_2 u_0}{D_1} dr. \end{aligned} \quad (18)$$

Для решения системы (9) также возможно применить описанный выше подход. Разница в случае нахождения первого и последующих приближений лишь в том, что функции  $\xi_0(r)$  и  $\eta_0(r)$  будут изменяться в зависимости от вида правой части уравнений системы (9).

### Осесимметричный изгиб круглых однослойных пластин.

В качестве частного случая рассмотрим вначале поперечный изгиб круглой однослойной пластины со следующими параметрами: толщина пластинки  $h = 18 \cdot 10^{-3}$  м,  $R = 0,4$  м; модуль сдвига и коэффициент Пуассона материала –  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа и  $\mu = 0,27$  соответственно.

Сопоставим значения прогибов, полученные с помощью описанной выше схемы решения системы дифференциальных уравнений (8) с решением Тимошенко [10] для равномерно нагруженной круглой пластинки.

В табл. 1 приводятся результаты такого сопоставления. Через  $w_{\max}$  обозначен максимальный прогиб в центре пластины;  $q$  — величина равномерно распределенной поперечной нагрузки. Типы моделей используемых при расчетах, обозначены в табл. 1 следующим образом: 1 — аналитическая модель, 2 — модель Тимошенко круглой однослойной пластины [10].

*Таблица 1.*

#### Осесимметричный изгиб круглой однослойной пластинки

$q$ , Мпа	$w_{\max} = w(0), 10^{-3}$ м			
	Тип закрепления			
	Свободное опирание		Зашемление	
	Модель		Модель	
	1	2	1	2
0,05	0,779	0,779	0,188	0,188
0,07	1,091	1,090	0,263	0,263
0,09	1,402	1,402	0,338	0,338
0,11	1,714	1,714	0,413	0,413

Из сопоставления значений прогибов в табл. 1, можно сделать вывод о соответствии построенной модели решению Тимошенко [10]. Прогибы, полученные по аналитической модели, с точностью до шестого знака после запятой совпадают с прогибами модели Тимошенко, что позволяет сделать вывод об адекватности пост-

роенной модели решению Тимошенко и возможности ее применения для дальнейшего исследования прогибов слоистых пластин.

**Осесимметричный изгиб круглых трехслойных пластин с нелинейно-упругим средним слоем.** Рассмотрим поперечный изгиб круглой трехслойной пластины со следующими параметрами: толщина среднего слоя  $2h = 16 \cdot 10^{-3}$  м, толщина внешних слоев  $\delta_1 = \delta_2 = \delta = 1 \cdot 10^{-3}$  м, радиус пластинки  $R = 0,4$  м; модуль сдвига и коэффициент Пуассона внешних слоев –  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа и  $\mu = 0,27$  соответственно, модуль сдвига и модуль объемной деформации заполнителя —  $\tilde{G} = 2,77 \cdot 10^4$  МПа,  $\tilde{K} = 6 \cdot 10^4$  МПа, коэффициент  $\gamma_2 = -3.878 \cdot 10^5$ . Тангенциальные напряжения  $\tilde{\tau}_{xz}$  и  $\tilde{\tau}_{yz}$  изменяются линейно по толщине среднего слоя.

Решение систем уравнений (8) и (9) будем проводить по рассмотренной выше схеме, путем сведения к уравнению Бесселя. При решении систем (9) учитываются первое и второе приближение в разложении (7).

В табл. 2 приводятся значения максимального прогиба в центре пластины в нелинейной постановке при различных граничных условиях.

*Таблица 2.*

**Осесимметричный изгиб круглой трехслойной пластинки с нелинейно-упругим средним слоем**

$q$ , Мпа	$w_{\max} = w(0), 10^{-3}$ м					
	Тип закрепления					
	Свободное опирание			Защемление		
	№ приближения			№ приближения		
	0	1	2	0	1	2
0,05	1,609	1,622	1,622	0,391	0,396	0,396
0,07	2,253	2,287	2,289	0,547	0,560	0,560
0,09	2,897	2,970	2,975	0,704	0,730	0,731
0,11	3,541	3,673	3,689	0,860	0,909	0,910

**Сопоставление значений поперечного изгиба круглых трехслойных пластин.** В табл. 3 приводятся значения максимального прогиба в центре пластины в линейной постановке ( $\gamma_2 = 0$ ) при различных граничных условиях. Параметры круглой трехслойной пластинки аналогичны предыдущему случаю. Значения максимального прогиба в центре пластинки полученные из работ [2, 7, 8] сопоставляются со значениями прогибов полученными из решения уравнений (8). Модели, используемые при расчетах, обозначены в табл. 3 следующим образом: 1 — аналитическая модель; 2 — модель И.А. Михайлова [7], 3 — модель А.П. Прусакова [8], 4 — модель А.Г. Горшкова и др. [2].

*Таблица 3.*

**Сопоставление значений поперечного изгиба круглых трехслойных пластин**

$q$ , Мпа	$w_{\max} = w(0), 10^{-3}$ м						
	Тип закрепления						
	Свободное опирание			Зашемление			
	Модель			Модель			
	1	2	3	1	2	3	4
0,05	1,609	1,430	2,621	0,391	0,348	0,635	0,291
0,07	2,253	2,001	3,670	0,547	0,487	0,889	0,407
0,09	2,897	2,573	4,718	0,704	0,626	1,142	0,523
0,11	3,541	3,145	5,767	0,860	0,765	1,396	0,639

**Выводы.** В статье предложен вариант дифференциальных уравнений равновесия трехслойных пластин симметричного строения с изотропными наружными слоями и нелинейно-упругим по [4] материалом заполнителя. Изложена методика построения аналитического решения. Отметим, что похожая методика сведения системы дифференциальных уравнений равновесия к уравнению Бесселя использовалась также в работах [2, 8].

В качестве примера рассмотрена задача осесимметричного поперечного изгиба однослойной круглой пластинки в линейной постановке. Также рассмотрена задача осесимметричного поперечного изгиба трехслойной круглой пластинки в линейно-упругой и нелинейной постановке.

Отметим, что приведенные в табл. 3 модели используют различные упрощающие гипотезы, чем обуславливается разница полученных значений прогибов. Так, в модели А.Г. Горшкова [2] и И.А. Михайлова [7] для внешних слоев принимается гипотеза Кирхгофа-Лява, для заполнителя же принимаются различные гипотезы о распределении тангенциальных перемещений по толщине пластины. Существенные отклонения результатов расчетов по уравнениям модели А.П. Прусакова [8] объясняются тем, что здесь заполнитель считается легким, в отличие от других вышеупомянутых моделей.

Сравнение полученных значений прогибов на основе аналитической модели с работами [2, 7, 8, 10] свидетельствует об адекватности построенной модели и возможности решения на ее основе более широкого класса задач статики и динамики трехслойных пластин.

Результаты табл. 2 иллюстрируют влияние учета нелинейной упругости материала заполнителя на деформированное состояние трехслойной пластинки.

На основе аналитической модели могут быть получены компактные расчетные формулы для применения в инженерной практике.

Перспективы дальнейшего исследования связаны с рассмотрением задач нелинейной устойчивости и динамики трехслойных элементов конструкций.

### **Список литературы:**

1. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин: Прочность, устойчивость и колебания. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1987. — 360 с.
2. Горшков А.Г., Старовойтов Э.И., Яровая А.В. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 576 с.
3. Зайцев В.Ф., Полянин А.Д. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
4. Каудерер Г. Нелинейная механика/ Пер. с нем. М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 777 с.
5. Корнев Б.Г. Введение в теорию бесселевых функций. М.: Наука, 1971. — 288 с.
6. Кудин А.В. Применение метода малого параметра при моделировании изгиба симметричных трехслойных пластин с нелинейно-упругим заполнителем / А.В. Кудин, Ю.Н. Тамуров // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2011. — № 11(165). — С. 32—40.



7. Михайлов И.П. Некоторые задачи осесимметричного изгиба круглых трехслойных пластин с жестким наполнителем // Труды Ленинградского кораблестроительного института, — Вып. 66, — 1969. — С. 125—131.
8. Прусаков А.П. Некоторые задачи изгиба круглых трехслойных пластин с легким наполнителем // Тр. конф. по теор. пластин и оболочек, — № 1, — 1961. — С. 293—297.
9. Тамуров Ю.Н. Вариант обобщенной теории трёхслойных пологих оболочек с учётом обжатия физически нелинейного наполнителя // Прикл. механика, — Т. 26, — № 12, — 1990. — С. 39—45.
10. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. М.: Физматгиз, 1964. — 636 с.
11. Liu Renhuai Nonlinear Bending of Circular Sandwich Plates // Applied Mathematics and Mechanics. English Edition, — Vol. 2, — № 2, — 1981. — pp. 189—208.

## 3.2. МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ, ГАЗА И ПЛАЗМЫ

### ВОЗМОЖНОСТЬ ПониЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЛАЗМЕННОГО ВИХРЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

*Трощев Юрий Витальевич*

*канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник факультета  
ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [yuvt@yandex.ru](mailto:yuvt@yandex.ru)*

### POSSIBILITY OF TEMPERATURE DECREASE UPON FORMING OF PLASMA VORTEX BY ELECTRIC DISCHARGE

*Yuri Troshchiev*

*Ph.D., senior Researcher of CMC Department of M.V. Lomonosov MSU,  
Russia, Moscow*

#### АННОТАЦИЯ

В работе моделируется процесс образования плазменного вихря в результате электрического разряда. Показывается численно и аналитически, что температура внутри разрядной трубки может сильно понижаться. Понижение температуры происходит за счет потери внутренней энергии газа при расширении, сопровождающемся совершением работы. Это может снижать среднюю температуру вихря. Частицы сконденсировавшихся газов могут менять газодинамические свойства вихря.

#### ABSTRACT

Process of plasma vortex forming by electric discharge is modeled in the paper. It is numerically and analytically shown that temperature in the discharge tube can strongly decrease. Temperature decrease is caused by decrease of gas internal energy while gas expansion. It can lower average vortex temperature. Particles of condensed gases can change vortex gas-dynamical properties.

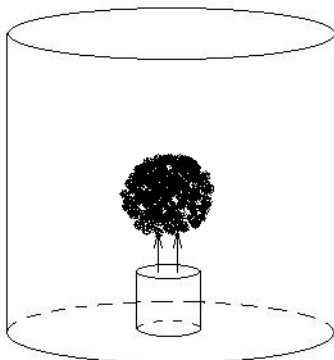
**Ключевые слова:** плазменный вихрь; математическое моделирование.

**Keywords:** plasma vortex; mathematical modeling.

### **Уравнения математической модели тороидального вихря.**

В данной работе рассматриваются эксперименты по получению светящихся плазмоедов в результате определенным образом произведенного электрического разряда [1]. Схема эксперимента следующая. В середине чашки диаметром около 20 см находится трубка диаметром 3—5 мм. Из трубки импульсом выталкивается струя плазмы, из которой формируется светящийся плазмоед. Предполагается, что такие объекты являются лабораторными аналогами шаровой молнии. Эксперимент производится при атмосферном давлении и комнатной температуре. Математическое моделирование эксперимента производится в предположении, что плазмоед является тороидальным плазменным вихрем [2]. В данной работе рассматривается и подтверждается аналитически возможность понижения температуры при формировании плазмоеда. Результат частично опубликован в работе [3]. Возможность понижения температуры подтверждается и экспериментальными данными.

Течение разреженной плазмы в значительной мере определяется движением воздуха [2], поэтому для численного моделирования процесса образования светящегося плазмоеда воспользуемся классическими уравнениями газовой динамики [4]. Зададим внутри трубки временные источники вещества (импульс увеличения плотности) и энергии (температуры). А всю систему поместим в некоторый объем, достаточно большой по сравнению с размерами трубки (рис. 1).



*Рисунок 1. Схема эксперимента*

Математическое моделирование рассматриваемых явлений удобно производить в условиях плоско-параллельной геометрии, которая по сравнению с цилиндрической проще для расчета и выдает мало отличающиеся результаты. В этом случае координата  $r$  является не радиусом, а одной из двух декартовых координат на евклидовой плоскости. Поскольку вихри в такой геометрии мы будем считать математической моделью тороидальных вихрей, то будем также называть их тороидальными и сохраним обозначение  $r$ .

Будем рассматривать уравнения Навье-Стокса в виде:

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial r} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial z} = \mathbf{C}, \quad (1a)$$

Где

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho v_r \\ \rho v_z \\ \rho h \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \rho v_r \\ p + \rho v_r^2 \\ \rho v_r v_z \\ \rho v_r h \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \rho v_z \\ \rho v_z v_r \\ p + \rho v_z^2 \\ \rho v_z h \end{bmatrix}, \quad (1b)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} q_1 \\ \nu(\partial^2 v_r / \partial r^2 + \partial^2 v_r / \partial z^2) \\ \nu(\partial^2 v_z / \partial r^2 + \partial^2 v_z / \partial z^2) \\ q_4 \end{bmatrix},$$

$$p = \frac{\rho}{\mu} RT. \quad (1b)$$

Здесь  $(r, z)$  — компоненты цилиндрических координат,  $(v_r, v_z)$  — компоненты скорости,  $\nu$  — вязкость,  $\rho$  — плотность,  $p$  — давление,  $h = C_p T$  — энтальпия,  $C_p = const$  — теплоемкость,  $T$  — температура,  $\mu$  — молярная масса воздуха,  $R$  — универсальная газовая постоянная.

Решения будем искать в области  $D$

$$r \in [0, R_D], \quad z \in [0, Z_D]. \quad (2)$$

На границах области зададим нулевые значения скорости

$$\begin{aligned} v_r(t, R_D, z) = v_z(t, R_D, z) = \\ = v_r(t, r, 0) = v_z(t, r, 0) = v_r(t, r, Z_D) = v_z(t, r, Z_D) = 0, \end{aligned} \quad (3a)$$

а при  $r = 0$  условия

$$\begin{aligned} v_r(t, 0, z) = 0, \quad \frac{\partial v_z}{\partial r}(t, 0, z) = 0, \quad \frac{\partial \rho}{\partial r}(t, 0, z) = 0, \\ \frac{\partial h}{\partial r}(t, 0, z) = 0, \quad t \geq 0. \end{aligned} \quad (3б)$$

На поверхности трубки также как и на границах области зададим нулевые значения скорости

$$v_r(t, R_T, z) = v_z(t, R_T, z) = 0 \quad \text{при} \quad z \leq Z_T. \quad (3в)$$

Отметим, что условия (3в) выполняются дважды: с одной и с другой стороны поверхности трубки. Здесь  $R_T$  — радиус трубки,  $Z_T$  — высота трубки. Давление  $p$  и энтальпия  $h$  на линии  $r = R_T$ ,  $z \in (0, Z_T)$  испытывают разрыв. Если толщина стенок трубки ненулевая, то условия (3в) соответствующим образом модифицируются.

Начальные условия соответствуют неподвижному состоянию воздуха:

$$\begin{aligned} v_r(0, r, z) = v_z(0, r, z) = 0, \quad \rho(0, r, z) = \rho_0, \quad h(0, r, z) = C_p T_0 \\ r \in [0, R_D], \quad z \in [0, Z_D]. \end{aligned} \quad (4)$$

Решать уравнения (1)—(4) будем с помощью разностных схем [5].

Характерные значения параметров: радиус цилиндра  $R_D \sim 5 - 10$  см, высота цилиндра  $Z_D \sim 10 - 20$  см, температура  $T_0 \sim 20^\circ\text{C}$ ,  $\mu = 28 \cdot 0.785 + 32 \cdot 0.215$  г/моль — молярная масса воздуха,  $p_0 = 101325$  Па — атмосферное давление, радиус трубки  $R_T \sim 2,5$  мм, высота трубки  $Z_T \sim 5 - 10$  мм, время импульса  $\Delta t \sim 0,01$  с. Источники  $q_i$  описываются следующими формулами:

$$q_i = q_{0,i} \cdot f(t) \cdot g(r) \cdot h(z), \quad i = 1, 4 \quad (5a)$$

Где

$$\begin{aligned} f(t) &= (1 - \cos(2\pi t / \Delta t)) / 2, \\ g(r) &= (1 + \cos(\pi r / r_0)) / 2, \\ h(z) &= (1 - \cos(2\pi(z - z_1) / (z_2 - z_1))) / 2. \end{aligned} \quad (5b)$$

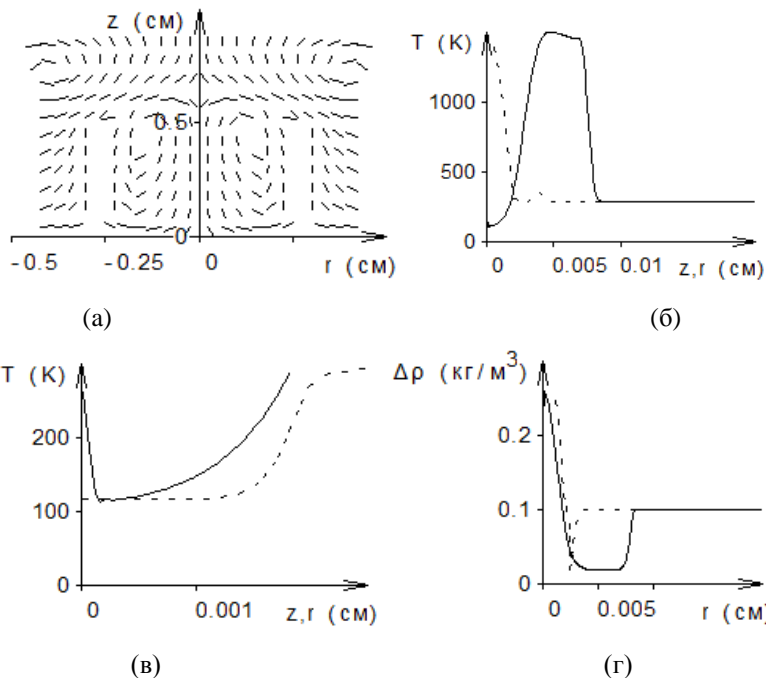
Некоторые сведения о решениях таких систем уравнений содержатся также в работе (6).

#### **Моделирование плазмоида при истечении газа из трубки и адекватных значениях скорости и температуры.**

Пусть высота трубки — 5 мм, радиус — 2,5 мм. Толщина стенок трубки в данном случае ненулевая. Источники вещества и температуры выберем следующими:  $q_{0,1} = 5000$  кг/м<sup>3</sup> с,  $q_{0,4} = 2 \cdot 10^6$  кг·К/м<sup>3</sup> с,  $z_1 = 0$  мм,  $z_2 = 2,5$  мм.  $\Delta t = 0,01$  с,  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ . Вязкость будем вычислять как значения квадратичной функции, построенной методом наименьших квадратов по точкам  $(T, \nu)$ : (0,171), (300,297), (500,362), (700,417), (1000,490), (1200,534). Такие значения вязкости предоставлены проф. В.Л. Бычковым. Здесь температура измеряется в градусах Цельсия, а вязкость в  $10^{-7}$  Н·с/м<sup>2</sup>.

Максимальная скорость  $v_{\max}$  при таких значениях параметров по окончании импульса составляет  $\sim 3$  м/с, а максимальная температура  $T_{\max} \sim 1500$  К. На рис. 2а показано поле скоростей

течения воздуха после окончания импульсов. Температура у дна трубки опускается до низких значений  $\sim 100\text{ K}$  (рис. 2б). Соответственно значения вязкости при  $T < 0^\circ\text{C}$  экстраполируются той же квадратичной функцией. Эту неточность можно допустить, так как рассматриваемая математическая модель не учитывает также и некоторые процессы, происходящие при таких температурах.



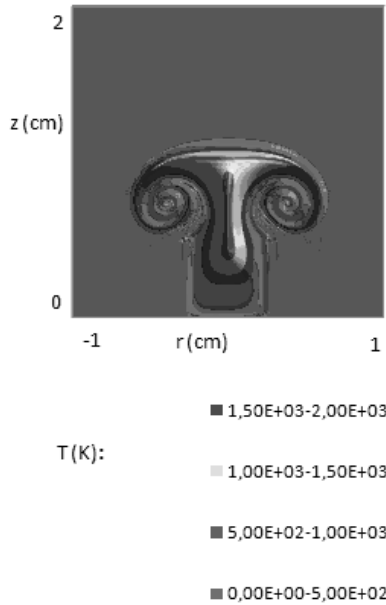
**Рисунок 2. (а) Сформировавшийся торoidalный вихрь по окончании действия источников вещества и температуры ( $t=0,01$  с). (б) Зависимость температуры от  $z$  при  $r=0$  мм (сплошная линия) и от  $r$  при  $z=5$  мм (пунктирная линия) в момент времени  $t=0,005$  с. (в) Зависимость температуры от  $z$  при  $r=0$  мм (сплошная линия) и от  $r$  при  $z=0,25$  мм (пунктирная линия) в момент времени  $t=0,005$  с. (г) Зависимость отклонения плотности от начального значения от координаты  $z$  при  $r=0$  мм (сплошная линия) и от координаты  $r$  при  $z=0,25$  мм (пунктирная линия) в момент времени  $t=0,005$  с**

На рис. 2а изображена одна четверть расчетной области: половина по высоте и половина по ширине. Расчетная область в рассматриваемом случае небольшая. Это существенно, так как при малом объеме окружающего пространства давление может более заметно повышаться, и может играть более существенную роль взаимодействие со стенками. Движением в данном случае оказалась захвачена почти вся расчетная область, т. е. скорость движения воздуха почти во всем объеме больше 3 см/с. Внутри трубки виден еще один тороидальный вихрь, вращающийся в противоположную сторону.

На рис. 2б показаны графики температуры при  $r=0$  мм и при  $z=5$  мм в момент времени, соответствующий максимальным значениям источников тепла и вещества. Максимальное значение температуры порядка 1500 К. Видно низкое, порядка 100 К, значение температуры у дна трубки, которое и является основным предметом данной работы. На рис. 2в изображен тот же момент времени, что и на рис. 2б, но масштаб по горизонтальной оси больше и показано также распределение температуры в поперечном сечении. Видна точка минимума температуры, которая, как будет видно из дальнейшего, играет существенную роль. На рис. 2г изображено отклонение плотности от начального значения в тот же момент времени, что и на рис. 2б, в. Вдоль оси  $z$  видно сильное увеличение плотности у дна трубки (до 1,2 атм), затем сильное уменьшение плотности у верхнего края трубки (до 1,015 атм), а далее некоторое заметное повышение плотности во всей остальной области (до 1,08 атм). Выясним правдоподобность такого повышения плотности в остальной области. Площадь сечения области равна  $0,02 \times 0,02 = 0,0004 \text{ м}^2$ . Средняя скорость течения газа за время 0,005 с составляла примерно 1,5 м/с. А ширина щели 0,0025 м. Поэтому за это время через сечение трубки поступил воздух, суммарное сечение которого составляет  $0,005 \times 0,0025 \times 1,5 \approx 0,00002 \text{ м}^2$ , т. е. примерно 0,05 от сечения области. Поэтому повышение среднего давления на величину порядка 0.08 от начального давления правдоподобно. Как будет показано в дальнейшем на эффект понижения температуры такое повышение давления влияет хотя и заметно, но не очень сильно.

На рис. 3 показано поле температуры в момент окончания импульсов.





*Рисунок 3. Поле температуры в момент времени  $t=0.01$  с*

**Аналитическое исследование достоверности понижения температуры.**

Оценим насколько правдоподобно понижение температуры внутри трубки. Для этого сначала рассмотрим одномерную задачу.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial z} = \mathbf{B}, \quad (6a)$$

Где

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho v \\ \rho h \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \rho v \\ p + \rho v^2 \\ \rho v h \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} q_\rho \\ v \partial^2 v / \partial z^2 \\ q_h \end{bmatrix}, \quad (6б)$$

Будем предполагать, что вблизи стенки существуют постоянные по времени источники вещества и температуры:

$$\begin{aligned} q_\rho(z) &= q_{\rho,0}f(z), \quad q_{\rho,0} > 0, \\ q_h(z) &= q_{h,0}f(z), \quad q_{h,0} > 0, \\ f(z) &\in C^1[0,l], \quad f(0) \geq 0, \quad f(l) = 0, \quad f(z) > 0 \quad \text{при } z \in (0,l). \end{aligned} \quad (7)$$

У стенки зададим нулевые значения скорости:

$$v(t,0) = 0. \quad (8)$$

У правой границы краевые условия могут быть различными. Предположим, что установился стационарный режим:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} = 0. \quad (9)$$

Тогда в пределах существования источника, т. е. на интервале  $(0,l)$  выполнены равенства

$$\operatorname{div} \rho \mathbf{v} = q_\rho(z). \quad (10a)$$

$$\operatorname{div} \rho h \mathbf{v} = q_h(z). \quad (10б)$$

Тогда в пределах существования источников, т. е. на интервале  $(0,l)$

$$\begin{aligned} \rho v &= \rho(0)v(0) + q_{\rho,0}F(z), \\ \rho v h &= \rho(0)v(0)F(0) + q_{h,0}h(z), \end{aligned} \quad (11)$$

$$F(z) = \int_0^z f(x)dx > 0, \quad 0 < z < l.$$

Учитывая краевое условие (8), получаем

$$h(z) = \frac{\rho v h}{\rho v} = \frac{q_{h,0} F(z)}{q_{\rho,0} F(z)} = \frac{q_{h,0}}{q_{\rho,0}} = const. \quad (12a)$$

Так как  $h = C_p T$ , то температура в пределах существования источников тоже равна константе

$$T = \frac{q_{h,0}}{C_p q_{\rho,0}}. \quad (12b)$$

В более сложных геометриях могут существовать точки экстремума энтальпии. В таких точках энтальпию можно вынести за знак дивергенции:

$$h \operatorname{div} \rho \mathbf{v} - q_h = h q_\rho - q_h = 0. \quad (13)$$

Таким образом, стационарное значение энтальпии в точках экстремума равно

$$h = \frac{q_h}{q_\rho}, \quad (14a)$$

а температуры

$$T = \frac{q_h}{C_p q_\rho}, \quad (14b)$$

Математически величины (12б) и (14б) могут быть как больше, так и меньше начального значения температуры. Рассмотрим эту возможность с точки зрения физического смысла. Известно, что при адиабатическом расширении температура газа уменьшается. Следовательно, она может уменьшаться и при расширении, не очень сильно отличающемся от адиабатического. В данном случае за счет расширения в системе непрерывно происходит преодоление внешнего давления для выталкивания образовавшегося газа за пределы источников, увеличение скорости газа и преодоление вязкости.

Т. е. можно гарантировать, что по крайней мере в некоторых областях температура газа будет ниже температуры источника. Если температура источника понижается вместе с температурой газа, то будет происходить и дальнейшее понижение температуры газа.

Если температура источника выше начальной, то в смысле понижения температуры ниже начальной вопрос в том, будет ли преобладать нагрев от источника тепла или охлаждение в результате расширения. Заметим также, что речь идет об охлаждении в некоторой области, так как суммарно газ нагревается. Поэтому противоречия второму началу термодинамики здесь нет. Эти рассуждения справедливы и в двумерной и в трехмерной геометриях. Более того, в этих геометриях неоднородность реальной задачи по пространству обеспечивает отклонение от среднего значения в различных точках пространства как в положительную, так и в отрицательную стороны. Поэтому понижение температуры в некоторой области пространства в таких геометриях может быть более существенным, чем в одномерном случае. В примере, приведенном на рис. 2, точка минимума температуры в пределах источников существует, но режим нестационарный. На рис. 2в видны точка минимума температуры и профиль температуры по  $r$  в сечении трубки, соответствующем этой точке минимума.

Поясним более подробно возможность более существенного понижения температуры из-за неоднородности задачи по пространству. Пусть установился стационарный режим истечения газа из трубки. И пусть температура источника равна  $T_1$ . Отметим, что в уравнениях (1) задан не источник внутренней энергии, а источник энтальпии, поэтому рассматриваемая здесь задача с температурой отличается от задачи для уравнений (1). Если температура источника равна  $T_1$ , а температура выходящего из трубки газа равна  $T_2$ , то внутренняя энергия газа, проходящего через выходное отверстие трубки за время  $\Delta t$  приблизительно равна

$$\frac{5}{2} RT_2 \frac{\rho S v \Delta t}{\mu}. \quad (15)$$

Здесь  $S$  — площадь сечения трубки,  $v$  — скорость истечения газа,  $\rho$  — плотность воздуха на выходе из трубки. За такое же время

$\Delta t$  весь этот газ поступает из источника, поэтому поступившая в систему внутренняя энергия равна

$$\frac{5}{2} RT_1 \frac{\rho Sv \Delta t}{\mu}. \quad (16)$$

Здесь  $\rho$  — по-прежнему плотность на выходе из трубки, хотя изменения значения плотности по сравнению с абсолютным значением здесь очень маленькие. Работа, совершенная газом за это время равна

$$pSv\Delta t, \quad (17)$$

где:  $p$  — давление. Таким образом, в среднем выполнено равенство

$$\frac{5}{2} RT_1 \frac{\rho Sv t}{\mu} = \frac{5}{2} RT_2 \frac{\rho Sv t}{\mu} + pSv t. \quad (18)$$

Сокращая на  $Sv\Delta t$  получаем

$$\frac{5}{2} RT_1 \frac{\rho}{\mu} = \frac{5}{2} RT_2 \frac{\rho}{\mu} + p. \quad (19)$$

Если подставить в это равенство значения величин, соответствующие атмосферным условиям, то получается понижение температуры, более чем на 100 градусов. Из этой формулы также видно, что повышение давления на величину порядка 0,1 от начального увеличит разность температур  $T_1 - T_2$  не очень значительно.

Основная часть работы совершается у дна трубки, потому что там давление оказывает воздействие на весь газ, находящийся в трубке. Поэтому там понижение температуры будет более существенным. Это можно выразить формулой

$$\frac{5}{2} RT_1 \frac{\rho Sv \Delta t}{\mu} = \frac{5}{2} RT_3 \frac{\rho Sv \Delta t_1}{\mu} + \frac{5}{2} RT_4 \frac{\rho Sv (\Delta t - \Delta t_1)}{\mu} + pSv \Delta t. \quad (20)$$

Здесь величина  $Sv\Delta t_1$  описывает объем газа около дна трубки, а  $Sv(\Delta t - \Delta t_1)$  — объем остального газа в трубке. Время  $\Delta t_1$  — это время, которое понадобилось бы, чтобы газ находящийся у дна трубки и летящий со скоростью  $v$  прошел через сечение трубки. Температура  $T_3$  окажется меньше температуры  $T_4$ . И это различие будет тем значительнее, чем меньшую относительную часть занимает газ, совершающий основную часть работы.

В частности возможно более высокое значение температуры  $T_4$ , чем  $T_1$ , в результате совершенной над этой частью газа работы. Источник вещества в рассматриваемой задаче очень мощный: в точке максимальной интенсивности источника за одну секунду плотность вещества увеличивается по сравнению с первоначальной более, чем в 4000 раз. Поэтому явления нагревания газа от сжатия могут быть очень существенными.

Возможность понижения температуры нетрудно подтвердить экспериментально. Если выпускать газ из баллона со сжиженным газом, то баллон сильно охлаждается. Причем охлаждается в той части, где находится газообразная, а не жидкая фаза. Т. е. это именно результат расширения газа, а не испарения жидкости. Можно также использовать аэрозольный баллончик, но эффект менее выражен из-за тонкой и хорошо проводящей тепло оболочки. Характерное время понижения температуры оболочки баллона в таких условиях минуты и десятки минут.

Оценим, за какое время будет происходить понижение температуры в условиях, соответствующих изучаемому эксперименту. Для этого пренебрежем воздействием изменения температуры на стационарность течения. Это можно сделать вблизи стационарных значений температуры вследствие малых изменений плотности, так как газ в рассматриваемых условиях почти несжимаем. Зависимость плотности от  $r$  и  $t$  при этом отсутствует. Поэтому выполнено равенство

$$\operatorname{div} \rho \mathbf{v} = q_1. \quad (21)$$

Рассмотрим уравнение для температуры (коэффициент пропорциональности между температурой и энтальпией в данном случае постоянен и равен 1)

$$\frac{\partial \rho T}{\partial t} + \operatorname{div} \rho T \mathbf{v} = q_4. \quad (22)$$

Вблизи максимумов и минимумов можно считать температуру постоянной. Учитывая также отсутствие зависимости плотности от времени получаем уравнение для температуры в окрестности экстремума:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{T}{\rho} \operatorname{div} \rho \mathbf{v} + q_4 = -\frac{T}{\rho} q_1 + \frac{q_4}{\rho}. \quad (23)$$

Решением такого уравнения является функция

$$T(t) = \frac{q_4 \rho}{q_1} + C \exp \left( -\frac{T - \frac{q_4}{\rho}}{\frac{q_1}{\rho}} q_1 t \right). \quad (24)$$

Приблизительные значения входящих в уравнение величин:  $T_0 = 293^\circ \text{K}$ ,  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $q_1 = 5000 \text{ кг/м}^3 \text{ с}$ ,  $q_4 = 2 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{K/м}^3 \text{ с}$ . При отсутствии источника энергии ( $q_4 = 0$ ) показатель экспоненты при начальной температуре отрицателен порядка 5000. Время уменьшения функции

$$e^{-\lambda t}, \quad \lambda > 0 \quad (25)$$

в два раза равно

$$\frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (26)$$

Соответственно время уменьшения температуры в два раза при показателе экспоненты  $-5000$  порядка  $10^{-4} \text{ с}$ . При  $q_4 = 2 \cdot 10^6$  правая часть уравнения (23) положительна, а при  $q_4 = 10^6$  — отрицательна и стационарное значение температуры равно  $240 \text{ K}$  (меньше нуля по Цельсию). Первое из этих значений соответствует

подъему максимальной температуры до  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а второе — до  $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Оба значения являются физически осмысленными и предполагаемыми в рассматриваемом эксперименте. И хотя рассматривается расчет, соответствующий  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но сделанные при аналитической оценке погрешности делают понижение температуры и в этом случае правдоподобным. А показатель экспоненты при этом может оказаться на порядок или два меньше, т. е.  $-500$  или  $-50$ . Время уменьшения температуры в два раза будет соответственно порядка  $10^{-3}$  или  $10^{-2}$  с.

### **Заключение.**

В данной работе рассмотрена начальная стадия процесса формирования плазменного сфероида. Т. е. рассматриваются результаты расчета во время действия импульсов. Внутри трубки температура опускается до очень низких значений. Это может приводить к существованию различных процессов, которые могут оказывать воздействие на формирование и развитие вихря. Например, в вихре, возможно, присутствуют капли и кристаллы сконденсировавшихся и замерзших газов, которые меняют газодинамические свойства вихря и увеличивают его за счет центробежных сил.

### **Список литературы:**

1. Егоров А.И., Степанов С.И., Шабанов Г.Д. Демонстрация шаровой молнии в лаборатории. УФН, — 2004, 174, — № 1, — с. 107—109.
2. Кузьмин Р.Н., Савенкова Н.П., Бычков В.Л., Складчиков С.А., Трошиев Ю.В. Математическое моделирование тороидальных, вихревых и сферических долгоживущих образований. Материалы 17-й российской конференции по холодной трансмутации ядер химических элементов и шаровой молнии. Дагомыс, 26 сентября — 3 октября 2010 г., — с. 154—165.
3. Трошиев Ю.В. О возможности понижения температуры в гатчинском разряде. М., МАКС Пресс, 2012, — 4 стр.
4. Милн-Томпсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. М., 1964, — 655 с.
5. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М: Наука, 1971, — 552 с.
6. Юсупалиев У., Савенкова Н.П., Трошиев Ю.В., Шутеев С.А., Складчиков С.А., Винке Е.Э., Гусейн-заде Н.Э. Вихревые кольца и плазменные тороидальные вихри в однородных неограниченных средах. II. Исследование процесса образования вихря. — Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 2011 г., — с. 46—58. (U. Yusupaliev, N.P. Savenkova, Yu.V. Troshchiev, S.A. Shuteev, S.A. Skladchikov, E.E. Vinke and N.G. Gusein-zade. Vortex rings and plasma toroidal vortices in homogeneous unbounded media. II. The study of vortex formation process. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 38, 2011, — pp. 275—282).



## СЕКЦИЯ 4.

## БИОЛОГИЯ

### 4.1. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

#### ПРОБЛЕМА ОПУСТЫНИВАНИЯ АРИДНЫХ ЗОН СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

***Байдюсен Улан Жетписович***

*PhD, доцент кафедры экологии*

*Казахского Агротехнического университета им. С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Астана*

***Нурмухамбетова Роза Торсановна***

*канд. биол. наук, доцент кафедры экологии*

*Казахского Агротехнического университета им. С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Астана*

***Кульжанова Салтанат Мукатаевна***

*канд. геогр. наук, старший преподаватель кафедры экологии*

*Казахского Агротехнического университета им. С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Астана*

***Ботабекова Гульнара Турсынхановна***

*магистр, старший преподаватель кафедры экологии*

*Казахского Агротехнического университета им. С. Сейфуллина,  
Республика Казахстан, г. Астана*

*Email: [bota81@mail.ru](mailto:bota81@mail.ru)*

# PROBLEM OF DESERTIFICATION OF ARID ZONES OF NORTHERN KAZAKHSTAN IN THE CONDITIONS OF THE INCREASED ANTHROPOGENOUS INFLUENCE

***Baydyusen Ulan Zhetpisovich***

*PhD, the associate professor of ecology  
of the Kazakh Agrotechnical university of S. Seyfullin,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

***Nurmukhambetova Roza Torsanovna***

*cand. biol. sci., the associate professor of ecology  
of the Kazakh Agrotechnical university of S. Seyfullin,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

***Kulzhanova Saltanat Mukatayevna***

*edging. geogr. sciences, the senior teacher of chair of ecology  
of the Kazakh Agrotechnical university of S. Seyfullin,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

***Botabekova Gulnara Tursynkhanovna***

*the master, the senior teacher of chair of ecology  
of the Kazakh Agrotechnical university of S. Seyfullin,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

## АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты исследований биоразнообразия фитоценозов, формирующихся в условиях повышенного антропогенного воздействия. На территории, прилегающей к селу Новомарковка, выявлено 45 видов растений, из 10 семейств. Значительную долю в структуре фитоценоза исследуемой территории занимают малочисленные в кормовом отношении польны *Artemisia austriaca* в степных или пустынных районах, устойчивая к вытаптыванию *Ceratocarpus arenarius* и растения, имеющие хорошо развитые, мощные подземные органы, способные к вегетативному размножению, такие как *Agropyron repens*.

## ABSTRACT

In article results of researches of biodiversity of plant communities being formed in the conditions of the increased anthropogenous influence. In the territory adjacent to the village of Novomarkovk, 45 species of plants, from 10 families are revealed. Considerable share in structure of phytocenosis

the studied territory *Ceratocarpus arenarius* steady against trampling and the plants having well developed, powerful underground bodies, capable to vegetativny reproduction, such as *Agropyron repens* occupy invaluable in forages the relation *Artemisia austriaca* wormwood in the steppe or desert areas.

**Ключевые слова:** опустынивание; деградация; фитоценоз; экосистема.

**Keywords:** desertification; degradation; фитоценоз; ecosystem.

В сельской местности часто основным источником дохода является содержание домашнего скота. Основное поголовье скота сконцентрировано вокруг поселков и аулов, что при несоблюдении правил выпаса ведет к деградации степной растительности. Особенно уязвимы сельскохозяйственные угодья, расположенные в зоне сухих степей, полупустынь и пустынь. Деградированные участки земли простираются на расстоянии в среднем от 5 и более километров от населенного пункта. На таких участках в зоне засушливых и сухих степей встречаются 4—5 видов степной растительности. В то же время, в естественной среде биологическое разнообразие представлено 20—25 видами. В зоне пустынь и полупустынь количество видов растений на деградированных участках еще меньше. По приблизительным подсчетам площадь деградированных земель вокруг поселков и аулов составляет более 25—26 тысяч га.

Перевыпас животных существенно влияет на распределение почвенной биоты. На участке, где ведется выпас животных, присутствовали исключительно внутрпочвенные формы животных (67 %), напочвенные беспозвоночные (герпетобионты) отсутствовали или были значительно менее обильны, занимая 36 %. Напротив, в нетронутой луговой степи Центрально-Черноземной заповедной зоны России подстилка, не перерабатывающаяся за вегетационный сезон из-за заповедного режима, накапливается и представляет собой слой войлока, достигающий толщины 10—20 см. Этот своеобразный дополнительный пласт со значительно более выровненным гидротермическим режимом предоставляет напочвенным беспозвоночным различных групп обитать в степных условиях [1].

Проблема опустынивания и снижения продуктивности земель является сегодня одной из главных проблем современности. Подобные исследования проводятся и за рубежом, особенно в странах с аридным климатом.

По данным З.Ш. Шамсутдинова и Н.З. Шамсутдинова, аридные территории занимают в России около 75 млн. га. Всего на аридных территориях сосредоточено 42,5 млн. га природных кормовых угодий. В настоящее время большая часть пастбищных экосистем серьезно нарушена. Многие ценные в кормовом отношении виды растений исчезли или стали редки. Почвы сильно истощены. Потери гумуса в них составляют 25—30 % и они не восполняются. Ветровой эрозии подвержено 60% пастбищных земель, более 50 % почв в той или иной степени засолено [2].

Проблемами деградации почв и растительности в результате антропогенной деятельности занимаются в разных странах. Так, например, по данным D. Wilson (Великобритания), на участке 900 га заболоченных земель, подвергавшемуся в течение нескольких десятилетий интенсивному выпасу и рекреационным нагрузкам, почвенный покров был сильно эродирован и характеризовался деградацией растительности. Ставилась задача исправления этого положения, создавшегося в результате действия атмосферных поллютантов и подкисления среды, интенсивного посещения местности туристами, пожаров и регулярного выпаса овец. Это привело к исчезновению таких видов как *Calluna vulgaris* и *Vaccinium myrtillus*. С уменьшением интенсивности выпаса и снижением рекреационных нагрузок состояние растительности стало постепенно улучшаться, начали возвращаться типичные виды вересковой пустоши. К 1994 г. там на площади более 300 га уже доминировали вереск и черника. Однако, на основной части территории прогресс был более медленным. Реколонизация началась лишь после внесения известняковой пыли в дозе 500 кг/га [3].

#### **Материал и методика исследований**

Объектами исследований являются естественные кормовые угодья, прилегающие к аулам и селам, расположенные в природно-климатической зоне сухой степи Акмолинской области. Исследования проводились в 2012 году на территории села Новомарковка (N 51°43'03"-E72°17'26") Ерейментауского района. Исследования велись в направлении от населенных пунктов по 4 основным трансектам (север, юг, запад, восток). С северной стороны села Новомарковка учет проводился до расстояния 500 м, так как далее располагались посевы сельскохозяйственных культур. Практические все направления используются местным населением для выпаса скота.

Таблица 1.

**Географические координаты пробных площадок на территории села Новомарковка**

Направ-ление трансекта	Расстояние от села, м					
	500	1000	1500	2000	2500	3000
Север	N51 <sup>0</sup> 43'930" E072 <sup>0</sup> 16'433"	—	—	—	—	—
Восток	N51 <sup>0</sup> 43'930" E072 <sup>0</sup> 18'596"	N51 <sup>0</sup> 44'123" E072 <sup>0</sup> 19'037"	N51 <sup>0</sup> 44'223" E072 <sup>0</sup> 19'130"	N51 <sup>0</sup> 44'296" E072 <sup>0</sup> 19'703"	N51 <sup>0</sup> 44'294" E072 <sup>0</sup> 20'400"	N51 <sup>0</sup> 44'166" E072 <sup>0</sup> 20'939"
Юг	N51 <sup>0</sup> 42'451" E072 <sup>0</sup> 18'524"	N51 <sup>0</sup> 41'977" E072 <sup>0</sup> 18'975"	N51 <sup>0</sup> 41'556" E072 <sup>0</sup> 19'249"	N51 <sup>0</sup> 41'233" E072 <sup>0</sup> 19'655"	N51 <sup>0</sup> 40'608" E072 <sup>0</sup> 20'282"	N51 <sup>0</sup> 40'124" E072 <sup>0</sup> 20'573"
Запад	N51 <sup>0</sup> 42'269" E072 <sup>0</sup> 16'642"	N51 <sup>0</sup> 41'906" E072 <sup>0</sup> 15'912"	N51 <sup>0</sup> 41'596" E072 <sup>0</sup> 15'725"	N51 <sup>0</sup> 41'157" E072 <sup>0</sup> 15'013"		

Для проведения исследований по учету степной растительности использовался метод переменных квадратов. На исследуемых участках для изучения фитоценоза были заложены пробные площадки размером 10 x 10 м (100 м<sup>2</sup>), в пределах этих площадок определялись учетные площадки размером 25 x 25 см. Общая площадь учета составляет не менее 1 м<sup>2</sup>. Выбор учетных площадок осуществлялся методом случайных чисел. Пробные площадки для изучения растительности были заложены на расстоянии от села 500, 1000, 1500, 2000, 2500 и 3000 м. Географические координаты пробных площадок на территории села Новомарковка показаны в таблице 1.

Видовой состав фитоценоза определялся в результате разбора образцов степной растительности, были определены семейства и виды степных трав. Все растения внутри площадки срезались на уровне почвы в период максимального развития растений, после чего разбирались на ботанические группы, высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались.

### **Результаты исследований**

Северное направление изучаемой территории представлено десятью видами растений, относящихся к 4 семействам: мятликовые, сложноцветные, маревые, капустные. Эдификаторами являются рогач песчаный и клоповник мусорный. Эти два вида растений присутствуют на всех пробных площадках. В среднем количество растений на каждой пробной площадке составило 211 шт./м<sup>2</sup>. Наибольшее количество растений было выявлено у вида клоповник мусорный (84), наименьшее — у сирени стручковой, пастушьей сумки обыкновенной, мордовника шароголового и гваюлы (*Syrenia siliculosa*, *Capsella bursa-pastoris*, *Echinops sphaerocephalus* и *Parthenium argentatum*).

Восточное направление изучаемой территории представлено четырнадцатью видами растений, относящихся к 5 семействам: мятликовые, сложноцветные, маревые, подорожниковые, розоцветные. Эдификаторами являются ковыль Лессинга и полынь австрийская (*Stipa lessingiana*, *Artemisia austriaca*), эти два вида растений присутствуют на всех пробных площадках. В среднем количество растений по каждой пробной площадке составило 47 шт./м<sup>2</sup>. Наибольшее количество растений было выявлено у вида *Stipa lessingiana* (30), наименьшее — у видов сирени стручковой и рогач песчаный (по 2 шт./м<sup>2</sup>).

Южное направление резко контрастирует по богатству биоразнообразия, в сравнении с предыдущими трансектами. Здесь выявлено 18 видов растений, относящихся к 11 семействам: мятли-

ковые, сложноцветные, гречишные, маревые и др. Эдификаторами являются горец птичий, полынь австрийская, эти два вида растений присутствовали на всех пробных площадках (табл. 2). В среднем количество растений на каждой пробной площадке составило 126 шт./м<sup>2</sup>. Наибольшее количество растений было выявлено у вида горец птичий *Polygonum aviculare* (43), у таких видов как, *лапчатка прямая* и *сирения стручковая*, *тысячелистник обыкновенный* были выявлены только единичные экземпляры.

Западное направление изучаемой территории представлено 12 видами растений, относящихся к 9 семействам: мятликовые, сложноцветные, гречишные, маревые, розовые и др. Эдификаторами являются полынь и ковыль Лессинга, всего на пробных площадках было выявлено 19 растений/м<sup>2</sup> данного вида. В среднем количество растений на каждой пробной площадке составило 135 шт./м<sup>2</sup>. В отличие от других направлений, на западном распространённость различных видов растений была более равномерной. Если на северном, восточном и южном направлениях среди большого количества видов растений на всех пробных площадках встречались лишь единицы, то на западном из 12 видов большинство встречается более равномерно, по сравнению с другими направлениями.

Таким образом, на территории села Новомарковка выявлено 45 видов растений из 10 семейств. Эдификаторами выступают, главным образом, житняк, полынь австрийская, полынь горькая, горец птичий (*Agropyron christatum*, *Artemisia austriaca*, *Artemisia absinthium*, *Polygonum aviculare*). Среднее количество растений составило от 9 шт./м<sup>2</sup> на восточном направлении до 24 шт./м<sup>2</sup> на западном.

**Таблица 2.**

**Видовой состав и количество растений на территории с. Новомарковка, шт./м<sup>2</sup>**

Вид растения	Расстояние от населенного пункта, м						Среднее
	500	1000	1500	2000	2500	3000	
1	2	3	4	5	6	7	8
Север							
<i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	74						74
<i>Agropyron repens</i>	12						12
<i>Alýssum desertórum</i>	5						5
<i>Lepidium ruderales</i>	84						84
<i>Echinops sphaerocephalus</i>	4						4
<i>Parthenium argentatum</i>	4						4

Artemisia austriaca	12						12
Capsélla búrsa-pastóris	4						4
Polycnemum arvense	8						8
Syrenia siliculosa	4						4
Bcero	211						211
Восток							
Stipa lessingiana	45	25	30	2		48	30
Artemisia austriaca	4		4	5	3	2	3,6
Leymus arenarius		19					19
Festúca sulcata			11		11	7	9,6
Felago arvensis			4				4
Syrenia siliculosa			2				2
Agropyrum cristatum				13			13
Ceratocarpus arenarius				2			2
Lepidium rudérale				3			3
Potentilla anserina				6			6
Koeleria gracilis					3		3
Syrenia siliculos					26		26
Linosyris villosa					4		4
Barbarea vulgaris						4	4
Bcero	49	44	51	31	47	61	47,1
Юр							
Polýgonum aviculáre	5	4		161	3		43,25
Ceratocarpus arenarius	3		31	42		18	23,5
Artemisia austriaca	14	29	99	26	50	32	41,66
Agropyrum cristatum	12	17					14,5
Lolium perenne L.	3	4					3,5
Stipa lessingiana	13				39	44	32
Achilléa millefólium	1	1					1
Festúca sulcata	4			22	14	5	11,25
Felago arvensis	8						8
Polycnemum arvense		40					40
Barbarea vulgaris		3		1	1		1,66
Syrenia siliculosa				2			2
Potentilla erecta				1			1



Poa trivialis				1			1
Atriplex tatarica				1			1
Alýssum desertórum					1		1
Phlomis agrarian					1		1
Chenopodium album						2	2
Всего	63	98	130	257	109	101	126,3
Запад							
Ceratocarpus arenarius	249	2				8	86,3
Polýgonum aviculáre		19				7	13
Festúca sulcata					29	9,6	19,3
Equisétum arvéense		11		7		19	12,3
Artemisia absínthium		5			24		14,5
Lichenes		18	48	132		2	50
Stipa lessingiana		2		9	47		19,3
Elytrígia répens	7			9		25	13,7
Kóchia prostata			24				24
Potentilla eréct			60	8	18		28,66
Astragálus					7	6	6,5
Poa protensis					1		1
Всего	256	57	132	165	126	76,6	135,4

Учет фитомассы растений на территории села Новомарковка в северном направлении проводился до расстояния 500 м, так как далее располагались посевы сельскохозяйственных культур (табл. 3).

**Таблица 3.**

**Биомасса растений на территории села Новомарковка, г/м<sup>2</sup>**

Направление трансекта	Расстояние от населенного пункта, м						Среднее
	500	1000	1500	2000	2500	3000	
Север	230,8	—	—	—	—	—	230,8
Восток	78,1	29,4	99,8	64	121	81,9	79,0
Юг	62,9	97,1	88,3	109,9	106,0	76,8	90,2
Запад	13,2	22,8	106,6	73,7	58,5	72,2	57,8
Среднее	96,05	37,3	73,7	61,9	71,4	57,7	

Биоразнообразие фитоценоза изученной территории существенно различается по видовому составу. Так, если растительное сообщество северного трансекта представлено 10 видами, то в других направления

встречаются намного больше видов растений. Основную массовую долю в фитоценозе занимают *рогач песчаный*. (75,2 %), причем данный вид растения является доминантом изучаемого фитоценоза.

Восточное направление характеризуется четырнадцатью видами растений, в полном составе эти виды не встречаются. Более половины фитомассы приходится на *Stipa lessingiana* (31 %). Наибольшая масса растений на единице площади (121 г/м<sup>2</sup>) выявлена на расстоянии 1500 м от села, наименьшая (29 г/м<sup>2</sup>) на расстоянии 1000 м. В данном направлении имеется тенденция постепенного увеличения фитомассы по мере удаления от села.

Южный трансект. Исследования показали, что южный трансект характеризуется большим биоразнообразием. В данном направлении выделено 18 видов растений. Максимальный вес фитомассы на единице площади отмечен на расстоянии 2000 м от села (110 г/м<sup>2</sup>). По сравнению с другими направлениями фитомасса растений сильно не варьирует при удалении от села. Почти во всех точках исследований встречается *полян австрийская и тупчак* (61,3 %). Доля остальных видов в общей фитомассе составляет менее 40 %.

Западный трансект. Это направление имеет наименьшую продуктивность фитомассы, что составляет в среднем 58 г/м<sup>2</sup>. Это объясняется постоянными выпасами скота. В данном направлении выделено 12 видов растений. Максимальный вес фитомассы отмечен на расстоянии 1500 м от села (107 г/м<sup>2</sup>), фитомасса растений возле села сравнительно небольшая и в основном состоит из *рогача песчаного*, который образует заросли на выбитых пастбищах, хорошо поедается крупным и мелким рогатым скотом и лошадьми. Эта характеристика *рогача* говорит о том, что повышенная антропогенная нагрузка привела к распространению этого растения. Почти во всех точках исследований встречается *хвоц полевой и тупчак* (44,7 %).

Продуктивность фитоценоза с 2000 м от села снова снижается. В целом фитоценоз представлен в основном плохо поедаемыми скотом, стелющимися и устойчивыми к вытаптыванию растениями. Доля ценных в кормовом отношении трав очень низка.

Таким образом, установлено, что в естественных природных условиях особенностью растительного покрова сухих дерновинно-злаковых степей является господство ксерофитных дерновинных злаков (*Stipa lessingiana*, *S. capillata*, *S.sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata*), рыхлодерневинных (*Aropyron pectinatum*) и корневищных (*Leymus ramosus*). Разнотравье также представлено ксерофитами (*Dianthus leptopetalus*, *Phlomis agrarian*, *Tanacetum achilleifolium*, *Galatella tatarica*, *G. divaricata*). На темно-каштановых

почвах преобладают типчакково-ковыльные (*Stipalessingiana*) степи. Характеризуются незначительной примесью разнотравья (*Dianthusleptopetalus*, *Galatelladivaricata*, *Jurineamultiflora*). Разнотравье играет подчиненную роль в строении сообществ и доля его участия не превышает 10-15 %. Травяной покров сухих степей разрежен, общее проективное покрытие не превышает 50—60 % [4].

В условиях повышенного антропогенного влияния естественная растительность, характерная для сухой степи, вытеснилась малопоедаемой и устойчивой к поеданию. Большую долю в фитоценозе исследуемой территории занимают полынь *Artemisia austriaca* и растения семейства *Chenopodiaceae*. Присутствие полыни особенно ярко выражено в южном направлении (38,5% от общего количества растений). Полыни из-за своей горечи плохо поедаются скотом в период вегетации. Значительную часть фитоценоза занимают также растения, произрастающие в степных или пустынных районах — рогач песчаный *Ceratocarpus arenarius* L. В северном направлении доля данного вида в фитоценозе велика (75 %). Присутствуют и растения, устойчивые к вытаптыванию, имеющие хорошо развитые, мощные подземные органы, способные к вегетативному размножению, такие как пырей ползучий *Agropyron repens*. Примечательно то, что в восточном направлении, где выпас домашних животных гораздо меньше, видовое разнообразие растений увеличивается и доля корневищного растения, такого как *Agropyron repens* значительно, снижается.

В целом на изучаемой территории основные представители степной растительности, характерные для естественных условий, практически исчезли из фитоценоза. Такие же результаты получены при исследовании горностепной и северной частей степной зоны Монголии. По данным Мирошниченко, с повышением пастбищной нагрузки, хорошо поедаемые животными, размножающиеся семенами растения, являющиеся эдификаторами коренных исходных фитоценозов, в условиях постоянного и многократного за вегетационный сезон стравливания истощаются и выпадают из травостоя. На смену им появляются и разрастаются растения, способные к вегетативному размножению. Это обеспечивает им, по сравнению с растениями, размножающимися только семенами, устойчивость к выпасу и лучшее расселение по территории [5].

Таким образом, в результате изучения растительности вокруг территории села Новомарковка выявлено 45 видов растений из 10 семейств. Эдификаторами выступают, главным образом, пырей ползучий, полынь австрийская, полынь горькая, горец птичий

(*Agropyron christatum*, *Artemisia austriaca*, *Artemisia absinthium*, *Polygonum aviculare*. Направления, наиболее часто используемые местным населением под выгон, имеют низкую биологическую продуктивность — 58—90 г/м<sup>2</sup> сухой массы. Значительную долю в фитоценозе исследуемой территории занимают малоценные в кормовом отношении виды трав, представители естественной растительности практически вытеснены из фитоценоза.

### Список литературы:

1. Гонгальский К.Б., Покаржевский А.Д., Савин Ф.А. Влияние выпаса на пространственное микрораспределение почвенных животных в луговой степи Центрально-Черноземного заповедника // Аридные экосистемы — 2005. — Т. 11, — № 28. — С. 71—76.
2. Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З. Методы экологической реставрации аридных экосистем в районах пастбищного животноводства // Степной бюллетень. — 2002. — № 11. — С. 23—29.
3. Wilson D. Восстановление деградированной заболоченной местности в округе Пик [Великобритания]. Restoration of a degraded moorland in the Peak District // Biol. J. Linn. Soc. — 1995. — № 56, — Suppl. A. — С. 221—223.
4. Микляева И.М., Гунин П.Д., Слемнёв Н.Н., Бажа С.Н., Факхире А. Нарушенность растительности степных экосистем // Аридные экосистемы. — 2004. — Т. 10 — № 24—25. — С. 35—45.
5. Мирошниченко Ю.М. Влияние выпаса и экологических условий на распространение полыней в степях Монголии и России // Аридные экосистемы, — 2004, — Т. 10 — № 24—25 — С. 76—83.

## 4.2. БОТАНИКА

### К ФЛОРЕ ХРЕБТА ЛЕС ВНУТРЕННЕГОРНОГО ДАГЕСТАНА

*Алиева Майя Гаджиевна*  
аспирант кафедры ботаники ДГУ,  
РФ, г. Махачкала  
E-mail: [majya.88@mail.ru](mailto:majya.88@mail.ru)

### TO THE FLORA RIDGE LES OF INNERMOUNTAIN DAGHESTAN

*Majya Alieva*  
postgraduate student of subfaculty botany of Daghestan State University  
Russia, Makhachkala

#### АННОТАЦИЯ

Произведена инвентаризация флоры хребта Лес (Внутреннегорный Дагестан). Приведены систематический, биоморфный, поясной и ареалогический анализы. Определена степень уникальности флоры по наличию эндемичных и краснокнижных растений.

#### ABSTRACT

The present article is devoted to flora inventory of the mountain range Les (Innerrmountain Daghestan). Systematic, biomorphic, altitudinal and arealogical analyses are given. The endemic and rare species point to flora uniqueness.

**Ключевые слова:** флора; Внутреннегорный Дагестан; биоморфа; эндемики.

**Keywords:** flora; Innerrmountain Daghestan; biomorph; endemics.

Флора Дагестана во многом уникальна, т. к. обладает рядом специфических особенностей, не свойственных другим регионам Кавказа. Это флористический узел, в котором тесно переплелись флоры Кавказа, Европы, Ближнего Востока и Средней Азии. Несмотря

на своеобразии флора Дагестана до конца не изучена. Хотя уже составлен конспект флоры Дагестана [4, Т. I, с. 5; Т. II, с. 3; Т. III, с. 3; Т. 3, с. 63], он все время пополняется. В последнее время основным направлением ботанических исследований является региональная флористика, где акцент делается на изучение конкретных и локальных флор [2, с. 75; 3, с. 56; 6, с. 87].

Исследуемая нами территория — хребет Лес, протяженностью около 50 км, является переходной зоной между известняковым и сланцевым горным Дагестаном. Для данного района характерна резкая контрастность климатических факторов, что связано с вертикальной зональностью. Перепады высот составляют от 950 до 2400 м. Поэтому здесь встречаются самые разнообразные типы растительности: участки альпийских лугов, субальпийские луга, горно-степные сообщества и участки с нагорными ксерофитами. Отдельными небольшими пятнами встречаются и леса: сосновые, березовые с незначительными примесями иных видов [5, с. 35].

За время исследования флоры хребта Лес с 2009 года было собрано и обработано 623 видов растений. По предварительным данным, собранные виды относятся к 5 отделам (табл. 1). Преобладает отдел *Magnoliophyta*, к которому относится 608 видов (97,6 %). Из них к классу *Liliopsida* относится 76 видов (12,2 %), к классу *Magnoliopsida* — 532 видов (85,4 %). Отделы *Pinophyta* и *Polypodiophyta* включают по 5 видов (0,8 %), *Equisetophyta* и *Lycopodiophyta* содержат по одному виду (0,2 %). Родовой коэффициент составляет 2,2.

**Таблица 1.**

**Таксономическая структура флоры хребта Лес**

Таксоны	Кол-во видов	%	Кол-во родов	%	Кол-во семейств	%
<i>Lycopodiophyta</i>	1	0,2	1	0,4	1	1,3
<i>Equisetophyta</i>	1	0,2	1	0,4	1	1,3
<i>Polypodiophyta</i>	5	0,8	4	1,4	4	5,1
<i>Pinophyta</i>	5	0,8	3	1,1	3	3,8
<i>Magnoliophyta:</i>	608	97,6	268	96,7	69	88,5
<i>Magnoliopsida</i>	532	85,4	232	83,6	59	75,6
<i>Liliopsida</i>	76	12,2	36	13,0	10	12,8
Всего	623	100	277	100	78	100

Растения изучаемой флоры относятся к 277 родам и 78 семействам. Лидирует семейство *Asteraceae* — 98 видов (15,6 %). Далее

в убывающем порядке следуют *Poaceae* — 52 вида (8,3 %), *Fabaceae* — 47 видов (7,5 %), *Lamiaceae* (5,9 %), *Rosaceae* (5,9 %), *Scrophulariaceae* (4,4 %), *Brassicaceae* (4,2 %), *Caryophyllaceae* (3,8 %), *Apiaceae* (3,3 %). Эти девять семейств формируют более половины видового разнообразия растительного покрова исследуемой территории (58,9 % от общего количества видов). Средние по объему семейства составляют 21,1 %, маловидовые семейства — 15,6 % всего видового разнообразия. На одновидовые семейства приходится лишь 5,6 %.

Семейства *Asteraceae* и *Poaceae* относятся к крупнейшим семействам Голарктики. Виды *Rosaceae* также сближают исследуемую флору с флорами бореальной области, где они входят в десятку крупнейших семейств. А включение в состав ведущих семейств *Fabaceae*, *Apiaceae*, *Brassicaceae* и особенно *Lamiaceae* говорит о ее генетических связях с флорами средиземноморья.

Растения во флоре хребта Лес относятся к очень разнообразным фитоценоотическим типам, которые сведены в 6 основных групп (табл. 2): луговые, каменисто-осыпные, степные, лесные, сорные и виды влажных мест.

**Таблица 2.**

**Соотношение фитоценотивов флоры**

Фитоценоитипы	Количество видов	% от общего числа
Луг	168	27,0
Каменистые места, осыпи	167	26,8
Степи	97	15,6
Лес и опушки	79	12,7
Сорные места	70	11,3
Влажные места	40	6,4
Всего	623	100

Преобладают луговые виды — они составляют 27,0 %. Незначительно от них отстают каменисто-осыпные виды, на долю которых приходится 26,8 %. степные виды составляют 15,6 %, лесные — 12,7 %, сорные — 11,3 %. Виды влажных мест — 6,4 %. По анализу местообитаний можно заключить, что изучаемая флора ксеро-мезофильная.

Распределение собранных растений по высотным поясам показало, что в изучаемой флоре доминируют виды, встречающиеся

от низменного до среднего горного пояса. Они составляют 41,7 %. Далее следуют виды, произрастающие в среднем и альпийском (субальпийском) — 34,6 %. Виды, распространённые от нижнего до альпийского пояса составляют 14,1 %, а меньше всего видов, встречающихся только в субальпийском и альпийском поясах — 10,3 %. То есть растения высокогорной группы представлены меньше всего. Доминируют те виды, которые достаточно свободно мигрируют из одного пояса в другой на небольших высотных отметках.

Разнообразные экологические условия существования всегда отражаются на характере адаптации растений и способствуют формированию соответствующих жизненных форм (биоморф). К настоящему времени создано много различных определений биоморф, как и их классификаций. В своей работе мы использовали систему Серебрякова (1962). Анализ флоры изучаемой территории показывает, что подавляющее большинство видов являются травами (табл. 3).

**Таблица 3.**

**Соотношение жизненных форм**

<b>Жизненные формы</b>	<b>Количество видов</b>	<b>% от общего числа</b>
Многолетники	434	69,7
Однолетники	96	15,3
Двулетники	37	5,9
Кустарники	35	5,7
Деревья	17	2,7
Полукустарники	4	0,7
Всего	623	100

Многолетние травы составляют 69,7 % (434 видов). Среди них много корневищных видов. Встречаются также клубневые и луковичные. Однолетники составляют 15,3 % (96 видов); двулетников 5,9 % (37 видов). Кроме того, 5,7 % (35 видов) относятся к кустарникам, деревьев меньше всего — 2,7 % (17 видов). Также встречаются и полукустарники — 0,7 % (4 вида). Таким образом, абсолютное большинство составляют травы. Их в совокупности 90 % всего видоразнообразия.

Ареалогический анализ по Гроссгейму (1936) [1, с. 160], выявил доминирование бореальных элементов (42,4 %). Это согласуется с мнением многих исследователей флоры Кавказа и Дагестана. Далее следует кавказский тип — 29,7 %, который может иметь иррадиации



в соседние районы, но многие из этих видов являются эндемичными и представляют собой специфическую часть флоры. Незначительно отстает (20,0 %) ксерофильная группа, отражающая связи с флорами Средиземноморья и Передней Азии (а также Восточного Предкавказья и Нагорного Дагестана). Есть еще представители степного, древнего, адвентивного и пустынного геоэлементов. Но они особой роли в сложении растительного покрова изучаемой территории не играют, т. к. их доля в совокупности составляет лишь 8 %.

В исследуемой флоре выделено 157 эндемичных вида, что составляет 25,2 % от флоры. Это превышает эндемизм Кавказа и Дагестана. Среди них общих эндемиков Кавказа — 15,6 % (97 видов), Большого Кавказа — 2,6 % (16 видов), Восточного Кавказа — 2,4 % (15 видов), Восточного и Центрального Кавказа — 0,6 % (4 вида). Доля эндемиков Дагестана составляет 4,0 % (25 видов). Эндемоспецифичность изучаемой флоры свидетельствует о ее оригинальности и своеобразии. Также во флоре хребта Лес встречаются охраняемые виды. В Красные книги Дагестана и России занесено 11 видов (1,7 %), в Красную книгу Дагестана 22 вида (3,5 %). То есть почти треть изучаемой флоры имеет особый статус, что подчеркивает своеобразие изучаемой территории во флористическом отношении.

### **Список литературы:**

1. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа // Труды ботанического института. Азерб. ФАН СССР. Баку, — 1936. — Вып. 1. — С. 260.
2. Магомедова М.А. О причинах разнообразия фитоценозов Талгинского ущелья Предгорий Дагестана // Вестник ДГУ. Махачкала, — 2011. — вып. 1. — С. 76—79.
3. Магомедова М.А., Яровенко Е.В., Аджиева А.И. Анализ некоторых локальных флор центрального предгорного Дагестана. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2013. — с. 111.
4. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Махачкала: Эпоха, 2009. Т. I—IV.
5. Омарова С.О. Анализ флоры Дагестана. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2011. — 96 с.
6. Омарова С.О. Флора локальных платообразных поднятий Внутреннегорного Дагестана. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2013. — с. 130.

## СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ДВУДОЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ДАГЕСТАНА

*Касумова Нурият Касумовна*  
аспирант кафедры ботаники ДГУ,  
РФ, г. Махачкала  
E-mail: [knuriyatru](mailto:knuriyatru)

## SYSTEMATIC STRUCTURE OF DICOTYLEDONS PLANTS OF DAGESTAN

*Nuriyat Kasumova*  
post-graduate student of subfaculty botany of Daghestan State University  
Russia, Makhachkala

### АННОТАЦИЯ

Класс двудольные республики Дагестана очень разнообразен и богат. Занимает ведущее место среди покрытосеменных Дагестана и достаточно полно и подробно отражает систематический структуру флоры республики.

### ABSTRACT

Class dicotyledons of the Dagestan republic is very diverse and rich. It occupies a leading place among the Dagestan angiosperms and quite comprehensively reflects the systematic structure of the republic flora.

**Ключевые слова:** флора; инвентаризация; двудольные; семейство; род.

**Keywords:** flora; inventory; the two-submultiple; family; sort.

Флора — это исторически сложившаяся совокупность видов растений, обитающих на определенной территории или в составе конкретного растительного сообщества [4, с. 3]. Важнейшим признаком любой флоры является ее видовой состав. Учет видов, произрастающих на определенной территории, так называемая инвентаризация флоры — представляет собой необходимую основу каждого флористического исследования.

Уникальность и большое разнообразие флоры Дагестана привлекала внимание многих исследователей. За трехсотлетний

период изучения опубликовано огромное количество работ в этой области. А в 2009 году наконец вышел обобщающий труд: 4-х томный «Конспект флоры Дагестана», автором которого является Муртазалиев Р.А. Им была выполнена огромная работа по инвентаризации флоры Дагестана, главной целью которого было выявление видового состава высших растений [2, Т. I, с. 64; Т. II, с. 6; Т. III, с. 6].

В рамках этого направления нами была произведена инвентаризация класса двудольных, произрастающих на территории Дагестана. Класс двудольные был взят исходя из того, что он занимает ведущее место в таксономическом спектре, и достаточно полно и подробно отображает общий видовой состав флоры территории республики Дагестан. Объем класса составляет 2520 видов растений, относящихся к 624 родам и 107 семействам (у Муртазалиева Р.А. 2426 вида, 600 родов и 107 семейств соответственно) [2, Т. I, с. 64; Т. II, с. 6; Т. III, с. 6; 3, с. 79]. То есть наши исследования выявили на 94 вида больше, чем у Муртазалиева Р.А. в его трудах [2, Т. I, с. 64; Т. II, с. 6; Т. III, с. 6].

На долю ведущих 11 семейств (содержащих в общем спектре от 72 до 483 видов) насчитывается 1791 вид, которые относятся к 421 роду и составляют 70,9 %, т.е. больше половины флоры республики (табл. 1). Абсолютно в количественном отношении доминируют представители крупнейшего семейства умеренной зоны *Asteraceae*, включающее в свой состав 483 вида (19,2 %), что характерно для флор большинства регионов Кавказа и в частности Дагестана [1, с. 11; 2, Т. III, с. 14]. *Fabaceae*, с общим количеством видов 228 (9,1) находится на втором месте, что свидетельствует о близости флоры со средиземноморской. На третье место выходит также средиземноморское семейство *Brassicaceae* — 180 (7,1 %), причем значительное их количество относится к сорным.

**Таблица 1.**

**Ведущие семейства флоры**

Название семейства	Кол-во видов	% видов	Название семейства	Кол-во видов	% видов
1. Asteraceae	483	19,2	7. Lamiaceae	126	5,1
2. Fabaceae	228	9,1	8. Scrophullariaceae	104	4,1
3. Brassicaceae	180	7,1	9. Chenopodiaceae	84	3,3
4. Rosaceae	156	6,1	10. Ranunculaceae	77	3,1
5. Caryophyllaceae	141	5,5	11. Boraginaceae	72	2,8
6. Apiaceae	140	5,5			
			Итого:	1791	70,9

Вклад семейства *Rosaceae*, разнообразно представленного во флоре бореальных областей, и в нашем случае довольно высок — 156 (6,1 %) и занимает четвертое место.

В спектрах флор Кавказа и северокавказских регионов солидное положение занимает *Caryophyllaceae* — 141 (5,5 %) и находится на пятом месте. Вслед за ним, с небольшим отставанием, идет *Ariaceae*, общее количество видов которого составляет 140 (5,5 %).

О средиземноморском влиянии свидетельствует и большая роль семейства *Lamiaceae* — 126 (5,1 %), которое располагается на седьмом месте. Огромную роль *Lamiaceae* во флоре можно объяснить наличием сухих каменистых, известняковых сообществ, где представители данного семейства находятся в благоприятных условиях существования.

Восьмое и девятое места занимают *Scrophulariaceae* — 104 (4,1 %) и *Chenopodiaceae* — 84 (3,3 %). Далее по убывающей следуют *Ranunculaceae* — 77 (3,1 %) и *Boraginaceae* — 72 (2,8 %). Семейство *Boraginaceae* наиболее характерно для полуаридных регионов.

Следовательно, спектр ведущих семейств флоры в общих чертах типичен для кавказских флор, но в то же время обладает рядом особенностей, обусловленных средиземноморским и, в меньшей степени, бореальным влиянием.

Помимо ведущих семейств в составе флоры насчитывается 17 аналогичных таксонов, содержащих в общем спектре от 17 до 50 видов. Это крупные по объему семейства. На их долю приходится 449 видов (17,9 %) (табл. 2). В общем, на долю крупных и средних семейств приходится 2240 видов, что составляет 88,8 %.

**Таблица 2.**

### Крупные семейства флоры

№	Название семейства	Кол-во видов	% видов	№	Название семейства	Кол-во видов	% видов
1	Rubiaceae	50	1,9	10	Valerianaceae	22	0,9
2	Polygonaceae	49	1,9	11	Crassulaceae	21	0,9
3	Campanulaceae	32	1,3	12	Papaveraceae	19	0,8
4	Dipsacaceae	29	1,1	13	Onagraceae	19	0,8
5	Euphorbiaceae	29	1,1	14	Salicaceae	19	0,8
6	Orobanchaceae	28	1,1	15	Violaceae	19	0,8
7	Geraniaceae	27	1,1	16	Malvaceae	17	0,7
8	Gentianaceae	26	1	17	Saxifragaceae	17	0,7
9	Primulaceae	26	1				
					Итого:	449	17,9

Кроме ведущих и крупных семейств во флоре также присутствуют 18 средних семейств, содержащих от 6 до 13 видов, что составляет 6,1 %.

Все остальные семейства являются мало- и одновидовыми, и представлены 61 семействами. К маловидовым относятся 34 семейства, куда относятся 99 видов, а к одновидовым — 27 семейств (27 видов соответственно).

О некоторых особенностях изучаемой нами флоры можно судить по наличию крупнейших родов, число видов которых составляет 30 и более. Таких родов в исследуемой флоре 8 (табл. 3).

Таблица 3.

### Крупнейшие роды

№	Название рода	Количество видов	№	Название рода	Количество видов
1	<i>Astragalus</i>	57	5	<i>Centaurea</i>	31
2	<i>Hieracium</i>	50	6	<i>Vicia</i>	31
3	<i>Rosa</i>	46	7	<i>Cirsium</i>	30
4	<i>Trifolium</i>	35	8	<i>Veronica</i>	30
				Итого:	310

На долю этих родов приходится 310 видов. Больше всего видов содержит род *Astragalus* L.. К нему относится 57 видов. Далее, по степени убывания, следуют роды *Hieracium* L. (50 видов), *Rosa* L. (46), *Trifolium* L. (35), *Centaurea* L., *Vicia* L. (по 31), *Cirsium* L., *Veronica* L. (по 30).

В спектре ведущих семейств, содержащих крупнейшие роды, и занимающих первое место, можно отнести *Fabaceae* и *Asteraceae* (по 3 рода). Остальные крупнейшие семейства как *Rosaceae* и *Scrophulariaceae* содержат по одному роду.

Но помимо крупнейших родов в изучаемой флоре выделяют также и крупные роды. К ним относятся 15 родов и 361 видов. Они содержат от 20 до 28 видов. Первое место среди них занимают такие роды как *Silene* L., *Galium* L., *Senecio* L. (по 28 видов) (табл. 4). На втором и третьем местах расположились *Campanula* L., *Orobanch* L. (по 27), *Euphorbia* L. и *Potentilla* L. (по 26). Далее, с небольшим отставанием, следуют *Rumex* L., *Artemisia* L., *Polygonum* L., *Dianthus* L. (по 22), *Ranunculus* L., *Cerastium* L., *Geranium* L. (по 21) и *Medicago* L. (20).

Таблица 4.

## Крупные роды

№	Название рода	Кол-во видов	№	Название рода	Кол-во видов
1	Silene	28	9	Artemisia	22
2	Galium	28	10	Polygonum	22
3	Senecio	28	11	Dianthus	22
4	Campanula	27	12	Ranunculus	21
5	Orobanche	27	13	Cerastium	21
6	Euphorbia	26	14	Geranium	21
7	Potentilla	26	15	Medicago	20
8	Rumex	22			
				Итого:	361

В составе изучаемой флоры выявлено 47 средних родов, содержащих от 10 до 19 видов. Они объединяют 610 видов. К ним относятся такие роды как *Viola* L. — 19, *Sedum* L. и *Alchimilla* L. — по 17, *Salsola* L., *Salix* L. и *Saxifraga* L. — по 16, *Draba* L., *Lathyrus* L., *Carduus* L. и *Scrophularia* L. — по 15, *Delphinium* L., *Papaver* L., *Erysimum* L., *Epilobium* L., *Onobrychis* Mill., *Heracleum* L., *Crepis* L., *Tanacetum* L., *Verbascum* L. и *Salvia* L. — по 14, *Atriplex* L., *Erigeron* L., *Asperula* L. и *Tragopogon* L. — по 13, *Gypsophila* L., *Minuartia* L., *Chenopodium* L., *Bupleurum* L., *Valerianella* Mill., *Scabiosa* L., *Psephellus* Cass., *Nepeta* L., *Anthemis* L. и *Taraxacum* L. — по 12, *Primula* L., *Gentiana* L., *Myosotis* L., *Stachys* L., *Thymus* L., *Jurinea* Cass. и *Scorzonera* L. — по 11, *Alyssum* L., *Arabis* L., *Lepidium* L., *Inula* L., *Euphrasia* L. и *Plantago* L. — по 10.

К мелким родам (от 3 до 9) относятся 747 видов. Родов с двумя видами – 94. Одновидовыми являются 304 рода.

Таким образом, систематическая структура класса двудольных флоры Дагестана свидетельствует о разнообразии и богатстве, что способствовало выделению Дагестана в самостоятельную флористическую провинцию [2, Т. I, с. 42].

## Список литературы:

1. Лепехина А.А. Флора и растительность Дагестана. Ботанические факторы ноосферы. Махачкала: 2002. — 352 с.
2. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Махачкала: 2009, Т. I—III.
3. Муртазалиев Р.А. Систематический анализ флоры Дагестана // Тезисы докладов международной научной конференции «Изучение флоры Кавказа». Пятигорск: РИА-КМВ, 2010. — С. 79—80.
4. Омарова С.О. Анализ флоры Дагестана. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2012. — 96 с.

**К ВОПРОСУ О БОЛЕЕ ПОДРОБНОМ  
ИЗУЧЕНИИ РОДА FESTUCA L.  
ВО ФЛОРЕ ДАГЕСТАНА**

***Мухумаева Патимат Омардибировна***

*соискатель ДГУ,*

*РФ, г. Махачкала*

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

***Магомедова Мадина Абдулмаликовна***

*д-р биол. наук, профессор ДГУ,*

*РФ, г. Махачкала*

***Аджиева Аида Избулаевна***

*канд. биол. наук, доцент ДГУ,*

*РФ, г. Махачкала*

***Омарова Сарат Омаровна***

*канд. биол. наук, доцент ДГУ,*

*РФ, г. Махачкала*

## THE QUESTION OF A MORE DETAILED STUDY FESTUCA L. KIND IN FLORA DAGHESTAN

**Patimat Muchumaeva**

*researcher Department of Botany Laboratory Assistant Daggos universiteta,  
Russia, Makhachkala*

**Madina Magomedova**

*doctor of biology sciences, professor of Dagestan State University,  
Russia, Makhachkala*

**Aida Adjieva**

*Ph.D, Associate Professor of Dagestan State University,  
Russia, Makhachkala*

**Sarath Omarova**

*Ph.D, Associate Professor of Dagestan State University,  
Russia, Makhachkala*

### АННОТАЦИЯ

Род *Festuca* является доминирующим и самым сложным в определении родом семейства *Poaceae* Barnh. При изучении его на территории Дагестана выявлены существенные изменения, связанные с поясным и геоморфологическим распределением. В горном Дагестане обнаружены вид и подвид рода *Festuca*, ранее не указанные для республики. Уточнен объем рода в связи с вычленением некоторых видов в новые роды.

### ABSTRACT

Genus *Festuca* is dominant and the most difficult for definition of *Poaceae* Barnh. family. When examining it in the territory of Dagestan showed significant changes related to the waist and geomorphological distribution. In the mountainous Dagestan found appearance and a subspecies of the genus *Festuca*, not previously specified for the Republic. Specify the volume type to include some of the new birth types into separate genera.

**Ключевые слова:** состав рода *Festuca*; поясное распределение; новые виды в Дагестане.

**Keywords:** the genus *Festuca*; standard distribution; new species in Dagestan.



Во флоре Кавказа семейство *Poaceae*, по результатам последних обработок, представлено 150 родами, 622 видами и 24 подвидами [12, с. 78]. Оно занимает третье место, количественно уступая лишь семействам *Asteraceae* и *Fabaceae*. Во флоре Северного Кавказа и Дагестана семейство *Poaceae* занимает 2 место, насчитывая 346 и 297 видов, соответственно [5, с. 96; 8, с. 121].

Доминирующим родом семейства *Poaceae* во флоре Дагестана является *Festuca*, объединяющий, по разным оценкам, от 15 [5, с. 96] до 22 [8, с. 121] видов. Представители этого рода имеют очень незначительные межвидовые отличительные признаки, и поэтому мы можем с полным основанием считать этот род самым сложным в таксономическом отношении.

История изучения рода *Festuca* во флоре Дагестана связана с такими именами как Маршалл Биберштейн, Хаккель, Липский; Фомин и Воронов, Гроссгейм. Подробно изучал кавказские овсяницы Сент-Ив. Хорошо описаны они в следующих изданиях «Флора СССР, Т. 2» [13, с. 296], «Флора Кавказа, Т. 1» [6, с. 281], «Злаки СССР» [11, с. 382], а также «Овсяницы Кавказа» [1, с. 164]. Благодаря исследованиям этих авторов была внесена большая ясность в вопросы систематики рода. Тем не менее, род *Festuca* территории Дагестана все еще требует тщательных всесторонних исследований, в связи с чем, эту работу мы начали с инвентаризации представителей рода с учетом современных тенденций и наработок. В ходе полевых исследований в течение 2005—2013 гг. были сделаны сборы и обследованы представители указанного таксона из разных геоморфологических и флористических районов Дагестана: приморского, предгорного, внутреннегорного и высокогорного. Кроме того, были критически обработаны гербарные фонды научного гербария Даггосуниверситета, гербарий ДНЦ РАН и гербарий БИН РАН (Кавказский сектор). Помимо этого, велась работа с личными гербариями сотрудников из 50 локальных точек территории республики. Изучение рода *Festuca* важно не только с научной точки зрения, но в плане учета и оценки качества кормовой базы для животноводства, а также при анализе почвозащитных мероприятий за счет способности представителей этого рода к образованию плотных укрепляющих почвы дернин.

На территории Дагестана род *Festuca* насчитывает, по литературным сведениям 25 видов, однако с учетом новых данных систематики, количество их уменьшилось до 20. С использованием современной классификации в составе рода в Дагестане имеются некоторые изменения, продемонстрированные в таблице.

Таблица 1.

Список рода *Festuca* территории Дагестана

Таксоны	Литературные данные	Данные автора	Статус
<b>Род 1. <i>Schedonorus Beauv.=Festuca subgen. Schedonorus (Beauv.) Peterm.</i></b>			
1. <i>Schedonorus giganteus</i> (L.) Soreng et Terrell= <i>Festuca gigantea</i> (L.) Vill., <i>Bromus giganteus</i> L.	*В тенистых лесах, на лугах До средн. горн. пояса Казбековский, Буйнуйнакский, Кайт.-Таб		Третичный реликт
2. <i>Schedonorus pratensis</i> (Huds) Beauv.= <i>Festuca pratensis</i> Huds.	*На лугах До верхн. горн. пояса Все р-ны		
3. <i>Schedonorus arundinaceus</i> (Schred.) Dumort.= <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.= <i>F. orientalis</i> (Hack) V. Krecz et Bodr.= <i>F. regeliana</i> Powl.	*На травянистых склонах До верн. горн. пояса Все р-ны кроме высокогорий	На влажных лугах	
<b>Род 2. <i>Drymochloa Holub=Festuca subgen. Drymanthele V. Krecz.et Bobr</i></b>			
1. <i>Drymochloa drymeja</i> (Mert.et Koch) Holub.= <i>Festuca drymeja</i> Mert. Et Koch- <i>Festuca montana</i> Bieb.	*В лесах До средн. горн. пояса Предгорный (Дербент), Самурский, Бежтинско-Дидойский (Бежта)		Третичный реликт
2. <i>Drymochloa sylvatica</i> (Pollich) Holud.= <i>Festuca sylvatica</i> (Pollich) Vill.	*В лесах До средн. горн.пояса Предгорный, Транссамурский хребет.		
<b>Род 3. <i>Festuca</i> L. Подрод 1. <i>Leucopoa (Grised.) Tzvel = gen. Leucopoa Grised.</i></b>			
1. <i>Festuca sclerophylla</i> Boiss. ex Bisch.	*На сухих щебнистых местах До средн. горн. пояса Предгорный, Кайтаго-Табасаранский Ахтынско-Кюринский, Дикломста- Дюльтидаговский, Транссамурский.		

2. <i>F. caucasica</i> (Boiss) Hack. ex Trautv.	*На каменистых склонах В средн. горн. поясе Центральный-Дагестан, Ахтынско-Кюринский.		Эндемик ЗК, ЦК,ЦЗ, ВК
<b>Подрод 2. Festuca Секция 1. Variae Hack.</b>			
1. <i>F. woronowii</i> Hack. = <i>F. varia</i> auct. Non Haenke.	*На лугах В верхн. горн. поясе Все горн. р-ны		
2. <i>F. karabaghensis</i> S. G. Mussajev.	*На степях на сухих склонах В средн. горн. поясе. Кайтаго-Табасаранский Центральный-Дагестан, Ахтынско-Кюринский		
<b>Секция 2. Aulaxyper Dumort.</b>			
1. <i>F. djimilensis</i> Boiss et Bal.	<sup>1</sup> На травянистых склонах, Камн. и щебн. склонах Высокогорном поясе Манас-Самурский (редко)		
2. <i>F. daghestahica</i> (Tzvel.) E.Alexeev.	* На известняковых склонах В средн. горн. поясе Буйнакский, Центральный-Дагестан, Ахтынско-Кюринский Дикломста-Дюльтыдагский, Транссамурский Бежтинско-Дидойский	<b>н.м.</b> на сланцевых склонах высокогорного Дагестана: Дикломста-Дюльтыдагский флористический район (Чародинский р-н., с. Шалиб); истоки реки Кара-Койсу	
3. <i>F. rubra</i> L.	* На лугах в кустарниках В средн. горн. поясе. Центральный -Дагестан	<b>н.м.</b> На лугах сланцевого Дагестана: Дикломста-Дюльтыдагский флористический район истоки реки Кара-Койсу	

4. <i>F. buschiana</i> (St-Yves) Tzvel. = <i>F. frigid</i> auct. non Nym.	<sup>1</sup> На лугах щебнистых склонах Верхнесулакский (редко)	<b>н.м.</b> На травянистых склонах во Центр.Даг., (р.Хунзахский)Дикл.-Дюльт., (р.Чародинский -ны) Бежт.-Дид.(Захида)	
Секция 3. <i>Festuca</i>			
1. <i>F. primae</i> E. Alexeev.	*На каменистых склонах В среднем и верхнем горном поясах Центральный – Дагестан, Дикломста-Дюльтыдагский., Бежтинско- Дидойский		<b>Эндемик ВК</b>
2. <i>F. alexeenkoi</i> E. Alexeev. = <i>F. levis</i> auct. non Spreng	*На лугах, осыпях В верхн. горн. поясе Дикломста- Дюльтыдагский Транссамурский	<b>н.м.</b> На лугах, в Центр.-Даг. (Хунзах) Дикл-Дюльт. (Чародинский р-н, с. Шалиб)	<b>Эндемик ВК, ВЗ</b>
3. <i>F. yaroschenkoi</i> (St-Yves) E. Alexeev.	*На лугах, В верхн. горн.поясе Ахтынско-Кюринский, Транссамурский		<b>Эндемик ВК, ВЗ</b>
4. <i>F. valesiaca</i> Gaud.	*В степях и на лугах До верхн. горн. пояса Все районы		
<i>Подвид Festuca valesiaca</i> supsp. <i>pseudovina</i> (Hack.ex Wiesb) Hegi		<b>н.подв.</b> На травянистых склонах высокогорного сланцевого Дагестана, Бежтинско- Дидойский (Цунтинский р-н, с. Захида)	
5. <i>F. musdelica</i> (Reverd.) Ikonn.	*На степях, на сухих склонах В средн. горн. поясе Центрально-Дагестанский, Ахтынско-Кюринский		

6. <i>F. pseudodalmatica</i> Krajina.		<b>н.в.</b> на травянистых склонах, Предгорный (ущелье Маркова близ бархана Сарыкум), Центрльно-Дагестанский (р.Акушинском с. Гапшима)	
7. <i>F. karadagensis</i> Hadac et Chrtek	*На степях на сухих склонах В средн.горн. поясе Центрльно-Дагестанский, Кюринский, Транссамурский	Ахтынско-	
8. <i>F. rupicola</i> Heuff. = <i>Festuca sulcata</i> Heuff.	*На каменистых склонах В средн. горн. поясе. Центрально-Дагестанский, Кюринский	Ахтынско-	<b>н.м.</b> На лугах сланцевого Дагестана: Дикломста-Дюльтыдагский(Чародинский р-н, с. Шалиб)
9. <i>F. brunnescens</i> (Tzvel.) Galushko.	*На сухих склонах В средне горном поясе Центрально-Дагестанский, Дюльтыдагский	Дикломста-	<b>н.м.</b> На лугах сланцевом Дагестане: Дикломста-Дюльтыдагский (истоки реки Кара-Койсу)
10. <i>F. saxatilis</i> Schur. Коков	*На каменистых склонах В средне горном поясе Центрально-Дагестанский, Кюринский.	Ахтынско-	
11. <i>F. ovina</i> L.	*На степях на сухих склонах *До верхнее. горн. пояса Центрально- Дагестанский, Кюринский, Дикломста- Бежтинско- Дидойский, Транссамурский	Ахтынско-	<b>н.м.</b> На склонах Предгорья: (хребет Нарат-Гюбе, Талгинское ущелье)

12. <i>F. ruprechtii</i> (Boiss.) V. Krecz. et Bobr.	*На лугах, щебнистых склонах В альп. поясе Дикломста-Дюльтыдагский, Бежтинско-Дидойская, Транссаурская		
---	---	--	--

*Примечание: \*- распространение и местонахождение видов по Конспекту флоры Дагестана (2009);*

*<sup>1</sup> — виды, дополняющие предыдущий источник Гусейновым Ш. А. [7, с. 31].*

**н.м.** — новое местонахождение вида

**н.в.** — новый вид для Дагестана

**н. подв.** — новый подвид для территории Дагестана

**ЗК** — Западный Кавказ, **ЦК** — Центральный Кавказ, **ВК** — Восточный Кавказ, **ВЗ** — Восточное Закавказье,

**ЦЗ** — Центральное Закавказье

Как видно из таблицы, в связи с изменением в систематике рода *Festuca*, 5 видов с плоскими листьями, ранее принадлежавшие к нему, сейчас включены в 2 других рода (*Schedonorus* — 3 вида и *Drymochloa* — 2 вида). Таким образом, видовой состав рода количественно уменьшился.

Используя литературные источники [3, с. 3; 10, с. 1681] и данные наших полевых исследований (2005—2013 гг.) в 50 локалитетах горного Дагестана, можно констатировать, что в настоящее время к роду *Festuca* здесь относятся 20 видов из 2 подродов — *Leucopoa* и *Festuca* — и 3 секций (*Variae*, *Aulaxyper*, *Festuca*). Все они являются многолетними корневищными растениями [13, с. 293; 11, с. 382].

К подроду *Leucopoa* принадлежат 2 вида — *Festuca sclerophylla* и *F. caucasica*, характерной чертой морфологии которых является наличие перепончатой колосковой чешуи. Подрод *Festuca* включает 18 видов, относящихся к 3 секциям. В основном, это виды, которые имеют сложенные вдоль центральной жилки или трубчато свернутые вовнутрь нитевидные листья. Определение этих видов возможно только с учетом особенностей анатомического строения листа (расположения склеренхимных тяжей, индекса положения и количества проводящих пучков) при микроскопировании.

Секция *Variae* подрода *Festuca* объединяет 2 вида с вдоль сложенными, редко — частично плоскими — листьями, а секция *Aulaxyper* включает в себя 4 вида, у которых пластинки листьев сверху гладкие, а на поперечном срезе — вдоль сложенные (*Festuca daghestanica*, *F. rubra*, *F. buschiana*)

Крупной в подроде *Festuca* является одноименная секция, в состав которой входит 10 видов и один подвид *Festuca pseudovina*. Для 4 видов (*Festuca alexeenkoi*, *F. rupicola*, *F. brunnescens*, *F. ovina*) нами выявлены новые местообитания на территории Дагестана (табл.). Один вид — *Festuca pseudodalmatica* приводится впервые для территории Дагестана и был обнаружен в предгорьях республики в 2008 году. Чуть позже его нашли также и во внутрегорном Дагестане. Под *Festuca pseudodalmatica* традиционно понимают сизую овсяницу, которая отличается от *Festuca valesiaca* более высокими стеблями, длинными листьями, а также несколько большими размерами колоска и его составляющих [4, с. 21]. При этом анатомическое строение листьев обоих видов и их диаметр существенно не различаются.

Своеобразие рода *Festuca* на территории Дагестана заключается в высоком проценте эндемизма. Из 20 видов — 4 являются кавказскими эндемиками, которые в большей степени тяготеют

к восточному Кавказу. Ряд представителей рода, которые сейчас относятся к другим родам: *Schedonorus giganteus*, *Drymochloa drymeja*, имеют статус третичных реликтов [2, с. 96].

В результате выполненных работ и сборов можно констатировать следующие уточнения в количественном составе таксонов рода *Festuca* на территории Дагестана:

1. Род *Festuca* на территории Дагестана объединяет 20 видов из 2 подродов и 3 секций. В связи с вычленением новых родов, его состав уменьшился на 5 видов.

2. Абсолютно доминирует подрод *Festuca*, в котором преобладающим по количеству видов является секция *Festuca* с 10 видами, из которых для 4 выявлены новые места обитания.

3. Для территории Дагестана впервые приводятся новые таксоны изучаемого рода — вид *Festuca pseudodalmatica*, и подвид *Festuca valesiaca* *supr. pseudovina*.

*Большая помощь в ходе определения узколистных овсяниц, включая новый вид и подвид, была оказана Н.Н. Цвелевым, за что авторы выражают ему глубокую признательность.*

### Список литературы:

1. Алексеев Е.Б. Овсяницы Кавказа. М.: МГУ, 1980. — 164 с.
2. Аджиева А.И. Кавказские эндемичные виды растений на территории Дагестана: учебное пособие. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2008. — 96 с.
3. Аджиева А.И. Конспект и краткий анализ флоры однодольных бархана Сарыкум (Дагестан) // Труды Дагестанского отделения Русского ботанического общества. Махачкала, — 2008. — вып. 1. — С. 3—6.
4. Беднарская И.А. О проблемах идентификации *Festuca pseudodalmatica* Kragina (Poaceae) // Междунар. конф. молодых ботаников. СПб., 2006. — С. 21—22.
5. Галушко А.И. Флора Северного Кавказа. Определитель. Ростов-н/Д.: РГУ, — 1978. — Т. I. — С. 96—100.
6. Гроссгейм А.А. Флора Кавказа // Баку Изд-во Азерб. фил. АН СССР, — 1940. — Т. I. — 365 с.
7. Гусейнов Ш.А. Дополнение к флоре однодольных Дагестана. // Биоразнообразие и рациональное использование природных ресурсов, Махачкала, 2013. — С. 31—34.
8. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Махачкала: Эпоха, — 2009. — Т. 4. — 320 с.
9. Магомедова М.А., Яровенко Е.В., Аджиева А.И. Анализ некоторых локальных флор центрального предгорного Дагестана: монография. Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2013. — 112 с.



10. Омарова С.О., Абачев К.Ю., Магомедова М.А. Сравнительный анализ флор известняковых плато внутреннего Дагестана. Бот. журнал. СПб., — 2007. — № 11. — Т. 92 — С. 1681—1691.
11. Цвелев Н.Н. Злаки СССР. Л.: Наука, 1976. — 788 с.
12. Цвелев Н.Н. Заметки о злаках (Poaceae) Кавказа. Бот. журнал. СПб., — 1993 г. — Т. 78. — № 10. — С. 78—95.
13. Кречетович В.Н., Бобров Е.Г. и др. Флора СССР. М.-Л.: АН СССР, — 1934 г. — Т. 2. — 772 с.

**РЕЛИКТОВЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ  
В ПРЕДГОРНОМ ДАГЕСТАНЕ  
(НА ПРИМЕРЕ НАРАТТЮБИНСКОГО ХРЕБТА)**

*Яровенко Елена Викторовна*

*канд. биол. наук, доцент,  
Дагестанский государственный университет,  
РФ, г. Махачкала  
E-mail: [evyarovenko@mail.ru](mailto:evyarovenko@mail.ru)*

**RELICT SPECIES OF PLANTS  
IN PIEDMONT DAGESTAN  
(BY THE EXAMPLE OF NARATTYUBINSKY CHAIN)**

*Elena Yarovenko*

*candidate of Biology, associate professor of Dagestan State University,  
Russia, Makhachkala*

**АННОТАЦИЯ**

На основании сведений из научных источников и многолетних собственных исследований флоры Нараттюбинского хребта (предгорный Дагестан) в статье проводится комплексный анализ группы видов изучаемой флоры с признаками реликтов. Отмечен сборный характер данной группы, что объясняется расположением хребта на границе двух геоморфологических районов Дагестана и разнообразием макро- и мезорельефа.

## ABSTRACT

In the article there is conducted an integrated analysis of the studied flora types' group with paleomorphic features on the basis of scientific information data and long-term own research of Narattyubinsky chain's flora (piedmont Dagestan). Composite character of this group has been pointed out; that comes from the chain's location at the boundary of two geomorphological districts of Dagestan and diversity of macro- and mesorelief.

**Ключевые слова:** реликты; флора; Нараттюбинский хребет.

**Keywords:** relicts; flora; Narattyubinsky chain.

Как известно, флора Дагестана богата, разнообразна и в общих чертах исследована. Однако изучение особенностей ее локальных флор с максимальным выявлением видового состава и последующим мониторингом флористического разнообразия — это задача современного этапа. Для реализации поставленной цели нами избрана территория Нараттюбинского хребта (далее Хребет), расположенного на границе двух геоморфологических районов Дагестана: низменности и предгорий (на территории Дагестана выделяется 4 геоморфологических района: низменности, предгорья, внутривгорья и высокогорья).

Согласно флористическому районированию Кавказа [1, с. 105], Хребет находится на границе двух флористических районов Восточного Предкавказья и Восточного Кавказа, а по флористическому районированию Дагестана [2, с. 43] — относится к Предгорному флористическому району, характеризующемуся как передовые возвышенности между реками Сулак и Самур.

Существенное влияние на функционирование фитоценозов Хребта и формирование его флоры оказывают как высота местности, так и близость Каспийского моря, которое сглаживает перепады температур и увлажняет воздух. На Хребте нами выделено три высотных пояса: степной (100—300 м н.у.м.), лесостепной (200—500) и лесной (500—760) с присущими им типами растительности.

Многолетние полевые флористические исследования позволили выявить на сложно рассеченной территории хребта 736 видов сосудистых растений (21 % всей флоры Дагестана), принадлежащих 360 родам и 81 семейству [3, с. 7; 4, с. 77].

Как известно, каждая флора объединяет элементы, различные не только по географическому происхождению, но и разновозрастные [5, с. 160]. Разного возраста могут быть как виды сами по себе, так и время их появления в составе данной флоры. Виды, пережившие

свой расцвет в прошлые геологические эпохи, а ныне сократившие область своего распространения, большинство флористов и геоботаников относят к разряду реликтовых. Проблема реликтов — одна из актуальнейших и острейших в ботанической географии [6, с. 1689], причем дискуссионными являются как вопрос понятия реликтов и определения их критериев, так и экологические особенности этой группы видов в условиях современной геологической эпохи [7, с. 119; 8, с. 13]. Но все без исключения исследователи данной проблемы считают, что на результатах изучения реликтовых видов могут быть основаны многие выводы о флорогенезе.

Как известно, реликтовые виды принято подразделять на 3 группы по возрасту эпохи, в которой они получили наибольшее развитие: третичные (Rt) — представители древней третичной флоры, гляциальные (Rg) — остатки флор ледниковых эпох и ксеротермические (Rx) — остатки флор засушливой межледниковой эпохи.

К первой группе А.И. Галушко [8, с. 13] относит почти все деревья и кустарники Кавказа, а также вечнозеленые и зимнезеленые споровые, некоторые зимнезеленые и вечнозеленые покрытосеменные, имеющие реликтовые ареалы, а также систематически (часто и географически) обособленные покрытосеменные. Исследователь растительности Дагестана П.П. Соловьева [9, с. 63; 10, с. 150] выделяет среди третичных реликтов группу ксерофильного типа, получившую наибольшее распространение в засушливые эпохи третичного периода и включающую преимущественно мигрантов из средиземноморского флористического центра.

Вторую группу многие авторы [11, с. 198; 12, с. 9; 13, с. 72] считают мигрантами бореальных флор, пришедшими на Кавказ вместе с ледниками. Не поддерживают эти взгляды В.Н. Кононов [14] и Р.В. Камелин [15], признающие автохтонное становление флоры Кавказа на основе древней доледниковой флоры. Независимо от происхождения гляциальные реликты признаны индикаторами оледенения, нижняя граница распространения которых показывает мощность ледникового покрова [16, с. 78].

Третья группа — это преимущественно засухоустойчивые виды, сформированные в ксерофильные периоды послеледниковой или межледниковой времени. Территория их основного современного распространения в Дагестане находится в предгорных и внутригорных районах (аридная часть между предгорьями и высокогорьями) [17, с. 48].

Понимая спорный характер предмета обсуждения, надо отметить, что в данной статье мы проводим флористический анализ группы

видов с признаками реликтов, опираясь на сведения научных источников [8, с. 13; 9, с. 62; 10, с. 148; 11, с. 190; 12, с. 9; 13, с. 70; 16, с. 72; 18, 204 с.; 19, с. 131] и некоторые собственные наблюдения. Специальных исследований на предмет принадлежности обсуждаемой группы к реликтам нами не проводилось.

Во флоре Хребта отмечено 118 видов (16 % всей флоры Хребта) с признаками реликтовости (древность происхождения, дизъюнкция ареала, систематическая обособленность и пр.). Они относятся к 52 семействам и 92 родам. Таксономическая принадлежность реликтов и распределение их по группам представлено в таблице 1. Из таблицы видно, что кроме основных трех групп нами выделены группы с не выявленным окончательно статусом, то есть в различных научных источниках они причисляются к разным группам. Для трех видов исторический момент их возникновения остается неясным.

Таблица 1.

**Таксономический состав реликтов флоры Хребта  
и их принадлежность к исторической эпохе**

Таксоны	Основные группы реликтов			Дополнительные группы реликтов			Всего
	Rt	Rg	Rx	Rtg	Rtx	R	
Отд. Equisetophyta	1	—	—	—	—	—	1
Отд. Polypodiophyta	7	—	—	—	—	—	7
Отд. Pinophyta	1	2	1	—	—	—	4
Отд. Magnoliophyta							
Кл. Magnoliatae	49	4	20	4	1	1	79
Кл. Liliatae	12	3	10	—	1	1	27
ИТОГО:	70	9	31	4	2	2	118

Наибольшее количество реликтов содержит семейство *Rosaceae* (12 видов), в котором встречаются представители всех трех групп с преобладанием третичных (6). 11 реликтовых видов включает семейство *Poaceae* (доминируют ксеротермические), 7 — *Fabaceae*, по 4 — *Brassicaceae*, *Fagaceae* и *Salicaceae*. В перечисленных семействах численно выделяются роды *Quercus*, *Populus* и *Festuca* (по 3—4 реликтовых вида). В состав остальных семейств входит по 1—3 реликта.

Доминируют во флоре Хребта реликты третичного периода (70 видов — 59,3 % всех реликтов), что не удивительно, так как, по мнению многих ученых [10, с. 155; 11, с. 190; 12, с. 9], именно нижние предгорья Восточного Кавказа и Закавказья, не подвергав-

шиеся оледенению, были рефугиумами третичной флоры, которая после отступления ледника расселилась по горным склонам.

Третичные реликты имеют различные ареалы, по этому признаку нами проведен географический анализ по системе геоэлементов А.А. Гроссгейма [11, 260 с.]. Распределение реликтов по типам и классам ареалов и возрастным категориям представлено в таблице 2.

*Таблица 2.*

**Соотношение геоэлементов во флоре реликтов Хребта**

№	Геоэлементы (Типы, классы)	Rt	Rg	Rx	Rtg	Rtx	R	Всего
	<b>Древний лесной.</b>							<b>20</b>
12.	Малоазийско-средиземноморский древний	3						3
3.	Колхидский	2						2
4.	Гирканский	13	1	1				15
	<b>Бореальный</b>							<b>37</b>
5.	Голарктический	5	1	1			1	8
6.	Палеарктический	7	1	1	2		1	12
7.	Европейский	13	2	1	1			17
	<b>Степной</b>							<b>10</b>
8.	Паннонский			1				1
9.	Понтический		1	2				3
10.	Сарматский			5				5
11.	Паннонско-Понтический			1				1
	<b>Ксерофильный</b>							<b>32</b>
12.	Средиземноморский	9	1	4	1			15
13.	Переднеазиатский	6	1	8		1		16
14.	Центрально-азиатский			1				1
	<b>Пустынный</b>							<b>3</b>
15.	Туранский	1		2				3
	<b>Кавказский</b>							<b>11</b>
16.	Кавказский	6	2	2		1		11
	<b>Переходные</b>							
17.	Европейско-Средиземномор.	2						2
18.	Европейско-Переднеазиатск.	1						1
19.	Средиземноморско-Переднеаз.	1		1				2

Как и можно было предположить, большинство реликтов имеет ареал бореального типа (37 геоэлементов — *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newm., *Quercus robur* L., *Dentaria quinquefolia* Bieb., *D. bulbifera* L., *Erysimum aureum* Vieb. и др.), где численно лидируют представители европейского и палеарктического классов. Из 32 геоэлементов с ксерофильным типом ареала равномерно представлены средиземно-морские (*Lonicera caprifolium* L., *Viburnum lantana* L., *Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich и др.) и переднеазиатские (*Carpinus caucasica* Grossh., *Roemeria refracta* (Stev.) DC., *Mespilus germanica* L. и др.). Достаточно многочисленна (20 геоэлементов) группа реликтов с древним (третичным) ареалом, где лидируют представители гирканского происхождения (*Ranunculus cicutarius* Schlecht., *Acer laetum* C.A. Mey, *A. hyrcanum* Fisch.et Mey., *Geranium albanum* Bieb., *Veronica ceratocarpa* C.A. Mey, *Carex phyllostachys* C.A. Mey и др.). Кавказский и степной геоэлементы представлены 11 и 10 реликтами соответственно, причем среди первой группы 5 палеоэндемиков (*Quercus petraea* subsp. *iberica* (Stev.ex Bieb.), *Pyrus caucasica* Fed., *Heliotropium styligerum* Trautv., *Allium grande* Lipsky, *Fritillaria caucasica* Adams).

Из биоморф среди реликтов наибольшее распространение получили соответственно эволюционно древние формы — фанерофиты (47 видов — 39,8 %) и гемикриптофиты (39—33 %), причем больше всего их среди третичных реликтов. Среди криптофитов (22 — 18,6 %) встречаются как Rt (12 видов), Rx (7), так и Rg (1). Оба хамефита — ксеротермические реликты, а терофиты (8 видов — 6,8 %) присутствуют во всех трех группах реликтов.

Распределение реликтов среди выделенных для Хребта 12 фитоценологических групп представлено в таблице 3.

Преобладающие среди реликтов фанерофиты в большинстве своем являются представителями лесных фитоценозов (54 вида — 34 %), львиная доля из которых — третичные (47). Заметим, что 36 третичных и 1 гляциальный реликт являются для этой фитоценологической группы ценотипно верными.

Опушечно-кустарниковые группировки оказались подходящим местообитанием для 36 реликтовых видов, здесь нашли пристанище представители всех групп (21 — Rt, 5 — Rg, 7 — Rx), тогда как в водно-болотных (постоянные водные источники отсутствуют), солончаковых и сорных фитоценологических группах реликтовые виды единичны. Реликты ксеротермической группы в большинстве своем приурочено к ксероморфным растительным ассоциациям (18 степных, 9 лесостепных, 9 скально-осыпных, 6 полупустынных).

Таблица 3.

## Принадлежность реликтов Хребта к фитоценоотическим группам

Фитоценоотическая группа	Rt	Rg	Rx	Rtg	Rtx	R	Всего
Лесная	47	1	2	3		1	54
Лесная петрофитная	5			1			6
Водно-болотная	1						1
Опушечно-кустарниковая	21	5	7	1	2		36
Лесостепная	2	1	9		1		13
Луговостепная		1	5				6
Псаммофитная			4				4
Степная	3		18			1	12
Полупустынная	1		6				7
Солончаковая	2						2
Скально-осыпная	5	3	9				17
Сорная	1						1

Надо заметить, что реликты, также как и эндемики, являются в подавляющем большинстве стенотопными видами, однако, 45 из них одновременно встречаются в двух разных фитоценоотических группах, *Spiraea hypericifolia* L. — в трех, а *Festuca valesiaca* Gaud — в 4.

К категории редко встречающихся относится 47 видов, а 17 из них занесены в Красные Книги России [20, с. 855] и Республики Дагестан [21, с. 552].

Таким образом, территория Хребта является естественным рефугиумом для значительного количества реликтовых видов, причем они являются представителями разных геологических эпох, имеют различное происхождение и требования к среде обитания. Это подчеркивает сборный характер флоры Хребта, связанный с его географическим расположением (зона контакта Низменного и Горного Дагестана), а также разнообразием макро- и мезорельефа, создающего различные условия для существования видов растений.

## Список литературы:

1. Конспект флоры Кавказа: В 3 томах / Отв.ред.акад. А.Л. Тахтаджян: Т. 1 / Ред. Ю.Л. Меницкий, Т.Н. Попова. Спб.: Изд-во С-Пет. Ун-та, 2003. — 204 с.
2. Муртазалиев Р.А. Конспект флоры Дагестана. Махачкала: Эпоха, — 2009. — Т. 1, — 320 с.

3. Магомедова М.А., Яровенко Е.В., Аджиева А.И. Анализ некоторых локальных флор Центрального Предгорного Дагестана: монография. Махачкала: изд-во ДГУ, 2013. — 130 с.
4. Яровенко Е.В., Абачев К.Ю., Магомедова М.А. Особенности флоры Нараттюбинского хребта (Дагестан) // Бот. журн., — 2011, — Т. 96, — № 1. — С. 75—86.
5. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: изд-во Ленинград ун-та, 1974. — 244 с.
6. Дидух Я.П. Эколого-ценотические особенности поведения некоторых реликтовых и редких видов в свете теории отеснения реликтов // Бот.журн. — 1988. — Т. 73. — № 12. — С. 1686—1698.
7. Липшиц С.Ю. Некоторые мысли о реликтах // Проблемы экологии, геоботаники, ботанической географии и флористики. Л.: Наука, 1977. — С. 119—124.
8. Галушко А.И. Особо интересные реликты ксеротермической эпохи в районе Кавказских минеральных вод и их охрана // Редкие и исчезающие виды растений и животных, флористические и фаунистические комплексы Северного Кавказа, нуждающиеся в охране: матер. науч.-практич. конф. Грозный: 1989. — С. 13—14.
9. Соловьева П.П. К распространению древней реликтовой флоры в буковых лесах Дагестана // Тезисы докл. науч. конф., посвященной итогам географ. исследований в Дагестане, В.ХI. Махачкала: 1978. — С. 62—63.
10. Соловьева П.П. К анализу реликтовой дендрофлоры Дагестана // Растительный покров Дагестана, его рациональное использование и охрана, Махачкала, 1986. — С. 148—155.
11. Гроссгейм А.А. Анализ флоры Кавказа // Труды Ботанического института Азерб. ФАН СССР. Вып. 1. Баку: 1936. — 260 с.
12. Гулисашвили В.З. Об убежищах древней растительности Кавказа в плейстоцене // Тез. докл. конф. по лесной растительности и дендрофлоре Северного Кавказ, Махачкала: 1965. — С. 9.
13. Львов П.Л. Реликты Дагестана их охрана // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. — 1979. — Вып. 3. — С. 70—74.
14. Кононов В.Н. Есть ли во флоре горного Кавказа арктические и бореальные элементы? // Проблемы ботаники. Т. XIV, В. 1. Новосибирск: Наука. 1979. — С. 54—59.
15. Камелин Р.В. Азиатские горные элементы во флоре Кавказа // Флора и растительность Алтая: тр. Южно-Сибирского бот.сада. Барнаул: Изд-во Алтайского университета. 1996. — С. 5—22.
16. Гулисашвили В.З. Реликтовые древесные породы ледникового времени Кавказа показатели распространения ледникового покрова // Бюлл. Моск. общества испытателей природы, — Т. 66, — В. 4. — 1961. — С. 72—84.



17. Аджиева А.И. Флора реликтов Сарыкумского участка заповедника «Дагестанский» // Проблемы охраны флоры и растительности на Кавказе: матер. междунар.науч.конф, Сухум: 2011. — С. 48—50.
18. Иванов А.Л. Флора Предкавказья и ее генезис. Ставрополь: Изд-во СГУ, 1998. — 204 с.
19. Аджиева А.И., Омарова С.О. Конспект и краткий анализ флоры реликтов Дагестана // Закономерности распространения, воспроизведения и адаптаций растений и животных: матер. всерос. конф, Махачкала: 2010. — С. 131—137.
20. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. — 855 с.
21. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала: 2009. — 552 с.

### 4.3. ЗООЛОГИЯ

**РАЗНООБРАЗИЕ БУЛАВОУСЫХ  
ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (RHORALOCERA)  
ОКРЕСТНОСТЕЙ СЕЛА КИРЕЕВСК  
(ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ), ИЮНЬ 2013 Г.**

***Иманкулова Евгения Анатольевна***

*студент 2 курса, биолого-химический факультет  
Томского государственного педагогического университета,  
РФ, г. Томск  
E-mail: [Kisiandra94@mail.ru](mailto:Kisiandra94@mail.ru)*

***Чынгышбаева Жылдыз Асантурсуновна***

*студент 2 курса, биолого-химический факультет  
Томского государственного педагогического университета,  
РФ, г. Томск  
E-mail: [jandi\\_1994@mail.ru](mailto:jandi_1994@mail.ru)*

***Лукьянцева Лидия Валентиновна***

*канд. биол. наук, доцент  
Томского государственного педагогического университета,  
РФ, г. Томск  
E-mail: [lukyantseva59@gmail.com](mailto:lukyantseva59@gmail.com)*

**VARIETY OF BUTTERFLIES RHOPALOCERA  
IN THE VICINITY OF KIREEVSK  
(TOMSK OBLAST), JUNE 2013**

***Eugeniia Imankulova***

*student of Tomsk State Pedagogical University,  
Russia, Tomsk*

***Chyngushbaeva Jyldyz***

*student of Tomsk State Pedagogical University,  
Russia, Tomsk*

***Lidiia Lukiantceva***

*candidate of biological sciences, associate professor  
of Tomsk State Pedagogical University,  
Russia, Tomsk*

**АННОТАЦИЯ**

В статье приведены результаты изучения состава видов дневных бабочек в период летней учебной полевой практики в окрестностях села Киреевск Томской области. В период с 20 июня по 3 июля 2013 г. Обнаружены 14 видов семейств *Pieridae*, *Lycaenidae*, *Nymphalidae*.

**ABSTRACT**

This article presents the results of the study of the species composition of butterflies during the summer field practice in the vicinity of Kireevsk in Tomsk Oblast. Between June 20 and July 3, 2013 were found 14 species from *Pieridae*, *Lycaenidae* and *Nymphalidae* families.

**Ключевые слова:** чешуекрылые; булавоусые.

**Keywords:** Lepidoptera; Rhopalocera.

Чешуекрылые, один из лучших объектов изучения насекомых, привлекают к себе внимание своей красочностью, массовостью. На территории Азиатской части России энтомологами выявлено почти 500 видов булавоусых чешуекрылых [3, с. 7]. Обобщающих работ за последний период по фауне дневных бабочек Томской области мало [2, с. 120]. Однако, степень изученности группы, в целом, по Западной Сибири высокая [2—5, 7].

В результате собственных наблюдений в течение двух недель летней учебной полевой практики в окрестностях с. Киреевск Томской

области в 2013 г. (с 20 июня по 3 июля) обнаружены особи имаго 14 видов булавоусых чешуекрылых 3 семейств (*Pieridae*, *Lycaenidae*, *Nymphalidae*). Сборы материала производились при помощи энтомологического сачка. Определение велось по известным пособиям [3, 4, 6]. Сборы проводились в смешанном лесу, на лесных полянах и суходольном лугу, на лесных грунтовых дорогах.

Район исследований расположен в юго-западной части Томской области (Кожевниковский район), на правом берегу р. Оби. Для участка берега реки характерно развитие песчаных отложений, сосновых боров. В лесных сообществах на преимущественно серых лесных почвах распространены также мелколиственные породы (березы, осины). Имеются обширные суходольные луга, лесные поляны; в понижениях рельефа заболоченные участки. Климат района переходный к континентальному; для юга области средняя температура июня месяца 15,5 °С [1, с. 103].

Из-за затяжных прохладных погодных условий в течение весны и начала лета 2013 г., сдвинулись сроки вегетации кормовых растений, удлинись сроки прохождения стадий метаморфоза насекомых. Как следствие, ряд видов чешуекрылых закончили развитие в более поздние сроки.

Из семейства Белянки (*Pieridae*) в окрестностях с. Киреевск в третьей декаде июня летали следующие представители. *Anthocharis cardamines* L. — Зорька. Длина передних крыльев 30—40 мм. Окраска белая, вершина передних крыльев с темным углом. Самцы бабочки с ярким оранжевым пятном в вершинной части переднего крыла. Встречены особи обоих полов на лесных полянах, в грязи грунтовой дороги. Вид в районе исследований обычен. *Gonepteryx rhamni* L. — Крушинница. Длина передних крыльев бабочки составляет 50—60 мм, вершины всех крыльев заострены. У самца лимонно-желтые крылья. Цвет самки зеленовато-белый. Гусеницы кормятся листьями крушины. Широко распространенный лесной вид и в июне 2013 г. наблюдали массу летающих бабочек. *Aporia crataegi* L. — Боярышница. Боярышница с передними крыльями, достигающими почти 50—70 мм, относится к наиболее крупным представителям. Крылья белые, без рисунка. У самца жилки темные и вся поверхность крыльев равномерно опылена; у самки большая часть крыльев полупрозрачна. Гусеницы вредят боярышнику, черемухе, рябине. *Pieris brassicae* L. — Капустница. Бабочка довольно крупная: самцы до 55 мм, а самки до 60 мм в размахе крыльев. Крылья белые; передние — с черными уголками, задние — с черным мазком на переднем крае. Это — типично мигрирующий вид. Перезимовывают куколки капустницы.

Гусеницы повреждают различные виды крестоцветных. Большое значение в уничтожении личинок, куколок капустниц имеют перепончатокрылые — наездники. *Pieris rapae* L. — Репница. Длина передних крыльев 40—50 мм в размахе. У самки на передних крыльях расположено по два черных пятна, у самца — по одному. *Leptidia sinapis* L. — Беляночка горошковая. Длина передних крыльев достигает 30 мм. Типичная белянка с резко выделяющимися жилками, у самца с серым пятном у вершины крыла. Гусеницы питаются на представителях бобовых.

Из семейства Голубянки (Lycaenidae) в последнюю декаду июня начали лет 2 вида. *Celastrina argiolus* L. — Голубянка крушинная. Встречались и мужские особи и женские. Гусеницы кормятся на крушине. *Polyommatus icarus* Rott. — Голубянка Икар. Длина передних крыльев 25—35 мм. Встречены особи обоих полов. Гусеницы питаются на бобовых, розоцветных.

Имаго семейства Нимфалиды (Nymphalidae) в районе наблюдений начали лет в 2013 г. в самые последние дни июня единичными особями, за исключением, крапивницы и павлиньего глаза. *Aglais urticae* L. — Крапивница. Длина передних крыльев 40—50 мм. Эвритопный мигрирующий вид. Бабочка летает после зимовки с апреля. Гусеницы живут группами на крапиве. Окраска гусениц темная до черного цвета с двойными желтоватыми полосками по бокам. Обычный в этом районе вид. *Nymphalis io* (L.) — Дневной павлиний глаз. Это широко распространенный вид. Единственный экземпляр бабочки встречен в середине июня в редком смешанном приречном лесу. Гусеницы черного цвета, с длинными ветвистыми шипами; живут группами на крапиве, зарослей которой много вдоль лесных дорог. *Argynnis aglaja* L. — Перламутровка Аглая. Длина передних крыльев 50—60 мм. Верх у самцов ярко-рыжий, у самок темнее. Начали лет в последние дни июня. *Polygonia c-album* L. — Углокрыльница С-белое. Длина передних крыльев 45—55 мм. Единственная особь вида обнаружена в смешанном лесу на берегу реки Оби. Гусеницы обитают на крапиве. *Vanessa cardui* (L.) — Репейница. Имаго отличаются продолжительностью жизни более месяца и могут перелетать на значительные расстояния [2, с. 64]. Единственный экземпляр бабочки значительно потертый встречен на берегу Оби в сосновом лесу. Гусеницы кормятся на сложноцветных, крапиве. *Melitaea didyma* Esp. — Шашечница Дидима. Длина передних крыльев 25—50 мм. Верх крыльев самца оранжевый, а у самки черный рисунок. Единичные особи, на лесном лугу.

Обнаруженные виды булавоусых района являются широко распространенными, а биотопически относятся к: эвритопным, лесным и луговым. Оцениваем разнообразие булавоусых в районе с. Киреевск в июне 2013 г. как невысокое. По неопубликованным данным, для района характерны, кроме выше перечисленных, виды из *Nymphalidae* (например, *Neptis rivularis* Sc., *Apatura iris* (L.)), а также *Hesperiidae*, *Satyridae* (например, *Coenonympha pamphilus* L., *Erebia ligea* L., *Satyrus dryas* Sc.).

### Список литературы:

1. Евсева Н.С. География Томской области. Томск: Издание Томского государственного университета, 2001. — 222 с.
2. Комаров К.М., Филимонова Е.Е. Динамика фауны булавоусых чешуекрылых (*Lepidoptera*, *Diurna*) г. Томска и его окрестностей в XX веке // Экология и рациональное природопользование на рубеже веков. Итоги и перспективы. — 2000. — Т. 1. — С. 120—121.
3. Коршунов Ю.П. Булавоусые чешуекрылые Северной Азии. М.: Товарищество научн. Изданий КМК. 2002. — 424 с.
4. Коршунов Ю.П., Горбунов П.Ю. Дневные бабочки азиатской части России: Справочник. Екатеринбург: Изд. Урал. ун-та, 1995. — 202 с.
5. Сущёв Д.В. Видовой состав дневных чешуекрылых южной части Кузнецкого Алатау (район Поднебесных Зубьев) // Биолог. разнообраз. животных Сибири: Мат. научн. конф. Томск, 1998. — С. 109—110.
6. Яхонтов А.А. Наши дневные бабочки. Определитель. М.: Уч.-пед.изд., 1935. — 160 с.
7. Gorbunov P, Kosterin O. The Butterflies (*Hesperioidea* and *Papilionoidea*) of North Asia (Asian part of Russia) in nature. Moscow: Rodina&Fodio, 2007. — 408 с.

## **ПРЕСНОВОДНЫЕ РАКОВИННЫЕ АМЕБЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

*Иманкулова Евгения Анатольевна*

*студент биолого-химического факультета  
Томского государственного педагогического университета,  
РФ, г. Томск*

*E-mail: [Kisiandra94@mail.ru](mailto:Kisiandra94@mail.ru)*

*Лукьянцева Лидия Валентиновна*

*канд. биол. наук, доцент  
Томского государственного педагогического университета,  
РФ, г. Томск*

*E-mail: [lukyantseva59@gmail.com](mailto:lukyantseva59@gmail.com)*

## **FRESHWATER BENTHIC TESTATE AMOEBAE IN THE CONDITIONS OF ANTHROPOGENOUS INFLUENCE**

*Eugeniia Imankulova*

*student of Tomsk State Pedagogical University,  
Russia, Tomsk*

*Lidiia Lukyantseva*

*candidate of biological sciences, associate professor  
of Tomsk State Pedagogical University,  
Russia, Tomsk*

### **АННОТАЦИЯ**

В статье показано изменение видового состава раковинных амёб в озере Сенная Курья, до и после механической расчистки донных отложений, проведенной в 2012—2013 гг.

### **ABSTRACT**

This article deals with the change in the species composition of the testate amoebae of the lake Sennaja Kuria before and after mechanical cleaning of the bed silt of the lake in 2012—2013.

**Ключевые слова:** раковинные амёбы; озеро Сенная Курья; антропогенный фактор.

**Keywords:** testate amoebae; lake Sennaja Kuria; anthropogenic factor.

Раковинные амёбы, обитающие, в том числе, в пресных водоемах, являются важными участниками трофических цепей, тем самым исследование их разнообразия представляет практический и теоретический интерес. Водные формы тестацей территории Западной Сибири исследованы слабо и фрагментарно [8, с. 239]. При этом очевидно, что простейшие в силу своих микроскопических размеров и быстрой смены поколений чутко реагируют на любые изменения среды [3, с. 7; 7, с. 24]. В донных осадках литоральной зоны озер и пресных водотоков доминируют эврибионты, с максимальными показателями разнообразия, обилия.

С 2011 года начаты исследования раковинных амёб (*Lobosea* (*Testacealobosea*)) озер города Томска. Городские водоемы играют важные хозяйственные, природоохранные, эстетические, рекреационные функции. Часто городские водоемы находятся в разной степени эвтрофирования.

Сенная курья, являясь по происхождению прирусловой старицей, расположена в пойме левобережья реки Томи против южной части города Томска. Берега курьи местами крутые или пониженные и заболоченные. Вода довольно прохладна из-за наличия донных родников в средней части водоема. Грунты в водоеме местами песчано-галечные или глинистые, но с довольно мощным слоем серых илов, способствующих аккумуляции различных веществ, в том числе загрязнителей. Растительность была представлена ивами, *Carex acuta* L., *Butomus umbellatus* L. и др. В прошлом плавающая растительность была более разнообразна и развита, особенно в верхней и средней части курьи. Доля и численность гидатофитов последние годы сокращается. В настоящее время подводная растительность развивается локально и представлена в основном рдестами, например, *Potamogeton perfoliatis* L. Фитопланктон представлен динофитовыми (*Ceratium hirundinella*), диатомовыми (*Navicula* sp., *Melosira* sp.), сине-зелеными (*Anabaena* sp., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.) и зелеными нитчатými (*Spirogyra* sp.) водорослями. Доминирующие в курье виды организмов являются индикаторами бета-мезосапробных условий (зона умеренной степени загрязнения воды). Водородный показатель в середине лета около нейтральных значений, а в августе приближается к 8,5. В воде повышены концентрации



(на уровне ПДК) нефтепродуктов, соединений азотной группы, фосфора; показатели ХПК, БПК<sub>5</sub> часто превышают ПДК [10, с. 76]. Потеря связи с рекой (утрата проточности) и строительство дамбы в нижней части водоема коренным образом изменили гидрологию водоема. Накопление донных отложений при значительной антропогенной нагрузке на водоем (рядом расположены автомагистрали, массы отдыхающих в летнее время) негативно сказываются на состоянии сообществ организмов Сенной Курьи.

В течение 2012 и в начале 2013 гг. в рамках федерального проекта «Предотвращение истощения, ликвидация загрязнения и засорения озера Сенная Курья в г. Томске, Томская область» проведена механическая расчистка донных отложений озера Сенная Курья в ходе которой, кроме прочего, ликвидированы заросли растительности, снят и вывезен грунт с берега и части литорали. Предполагалось, что в результате проведения этих мероприятий улучшится санитарное состояние вод озера.

С целью, определить, как механическая расчистка донных отложений озера сказалось на составе раковинных амёб литорали озера, были отобраны в июле 2011 и 2013 гг. в литорали нижней части озера-старицы (у дамбы, рядом с автомагистралью) пробы донных отложений. Отобрано 4 пробы объемом (грунт со слоем воды) около 40 см<sup>3</sup> каждая. Фиксация материала производилась формалином. Диагностику раковинных амёб проводили прямым микроскопированием водной суспензии по методикам, предложенным для почвенной фауны [2, с. 108]. Идентификация видов производилась по раковинкам амёб при помощи практического руководства [6]. Прочные раковинки амёб даже после отмирания животного хорошо сохраняются.

В 2011 году были произведены отборы проб грунта в литорали озера Сенная Курья [8, с. 239]. В 2 пробах было обнаружено всего 2 вида амёб отряда *Arcellinida* Kent. Подотряд *Arcellina* Naeckel семейство *Arcellidae* Ehr. *Arcella vulgaris* Ehr.; Подотряд *Diffugiina* Vovee семейство *Diffugiidae* Wallich. *Diffugia corona* Wallich.

Раковинка *Arcella vulgaris* из чистого органического вещества; диаметр около 100 мкм; характерного желто-коричневого цвета; гексагональная структура поверхности хорошо выражена. Встречается вид на дне пресноводных водоемов всех типов. Характер питания арцеллы (бактериями, мелкими водорослями) определяет их участие в процессах биологической очистки воды. В виду этого это вид входит в число облигатных организмов активного ила аэротенков и отстойников [9, с. 124].

Раковинка *Diffugia corona* почти правильной шаровидной формы с 3 шипами на заднем закругленном конце. Устье округлое, края его окружены мелкими зубчиками. Раковинка инкрустирована мелкими песчинками, плотная, непрозрачная. Форма крупная — около 200 мкм. Вид обычен в стоячих водоемах, очистных сооружениях. Преимущественно бета-мезосапроб.

Доминировала летом 2011 г. корненожка *Arcella vulgaris* (до 90 % численности). Численность корненожки достигала в грунте побережья в нижнем районе Сенной Курьи 11,5 тыс. клеток на 1 м<sup>2</sup>. Возможно, учитывая экологические предпочтения вида, он может быть индикатором избытка органических веществ в грунтах водоема.

В июле и августе 2013 г., после проведения расчистки ложа озера, в пробах грунта литорали озера раковинные амёбы не обнаружены, даже арцеллы, с их хорошо заметной по цвету раковинкой. Очевидно, что на сообщество оказало влияние изъятие грунта из ложа и литорали (где мы отбирали пробы) озера. Возможно, даже большая часть амёб оказалась изъята из озера вместе с грунтом. Резкое обеднение видового состава и численности раковинных амёб с увеличением воздействия антропогенного фактора отмечали исследователи ранее, для почвенных форм [3, с. 134]. Предполагалось, что почвенные амёбы могли реагировать на фактор перепашки почвы, внесения удобрений.

Исследования раковинных амёб озера будут продолжены в летний период 2014 г. (период максимального развития ценозов) с тем, чтобы определить последствия механической очистки донных отложений на сообщества амёб.

### Список литературы:

1. Булатова У.А. Фауна и экологические особенности раковинных амёб (Rhizopoda, Testacea) долины нижней Томи. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Томск, 2010. — 21 с.
2. Гельцер Ю.Г., Корганова Г.А., Яковлев А.С., Алексеев Д.А. Раковинные корненожки (Testacida) почв // Почвенные простейшие. Л.: Наука, 1980. — С. 108—142.
3. Заидов Т.Ф. Почвенные раковинные амёбы Закатальского района Азербайджана // Зоол. журн. — 1991. — Т. 79. — Вып. 4. — С. 132—134.
4. Иоганзен Б.Г., Попов М.А., Якубова А.И. Водоемы окрестностей города Томска / Рыбное хозяйство Томской области и продуктивность водоемов. // Труды Томского государственного университета. Томск: ТГУ. — 1951. — Т. 115. — С. 121—190.
5. Курьина И.В. Раковинные амёбы олиготрофных болот Западной Сибири. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Томск, 2012. — 22 с.

6. Мазей Ю.А., Цыганов А.Н. Пресноводные раковинные амебы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. — 300 с.
7. Марфина О.В., Чернышов В.А. Раковинные амебы в донных осадках водоемов Прибайкалья и юго-западной части Байкала // Матер. межвуз. конф. М.: МНЭПУ, 2011. — С. 24—25.
8. Педуненко Е.Н., Лукьянцева Л.В. Раковинные амебы пойменных озер г. Томска // Материалы XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и образование». Т. I: Естественные и точные науки. Томск: Изд. ТГПУ, 2013. — С. 239—242.
9. Фауна аэротенков (атлас) / Ред. Л.А. Кутикова. Л.: Наука, 1984. — 264 с.
10. Экологический мониторинг: Доклад о состоянии окружающей среды Томской области в 2011 году / гл. ред. А.М. Адам. Томск: Изд. «Графика ДТР», 2012. — 166 с.

#### 4.4. ПОЧВОВЕДЕНИЕ

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРЬИРОВАНИЯ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОСФАТНОГО РЕЖИМА  
СВЕТЛО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ  
ПРОИЗВОДСТВА ООО «АГРОФИРМА «ИСКРА»  
БОГОРОДСКОГО РАЙОНА  
НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Нефедьева Вера Владимировна*

*аспирант III года обучения ФГБОУ ВПО НГСХА,  
РФ, г. Нижний Новгород  
E-mail: [nefedjeva@bk.ru](mailto:nefedjeva@bk.ru)*

**ASSESSMENT OF INDICES' SPATIAL VARIATION  
OF PHOSPHATIC REGIME OF LIGHT-GRAY FOREST  
SOIL UNDER THE CONDITIONS OF PRODUCTION  
OF LLC FARM BUSINESS "ISKRA" OF BOGORODSKY  
DISTRICT OF NIZHNY NOVGOROD REGION**

*Vera Nefedyeva*

*postgraduate student of the 3rd year,  
FSBEI HVE Nizhny Novgorod State Agricultural Academy,  
Russia, Nizhny Novgorod*

#### **АННОТАЦИЯ**

Изучено влияние многолетнего применения удобрений на фосфатный режим светло-серой лесной легкосуглинистой освоенной почвы в условиях производства ООО «Агрофирма «Искра» Богородского района Нижегородской области. Проведена оценка степени неоднородности показателей фосфатного состояния исследуемой почвы за 2012—2013 гг. Отмечена высокая обеспеченность почв хозяйства подвижными формами фосфора, доля условно доступных соединений этого элемента в составе минеральных его соединений составляет в среднем 17—27 %.

## ABSTRACT

The influence of long-continued fertilizer application on phosphatic regime of light-gray forest light loamy exploited soil has been examined under the conditions of production of LLC farm business "Iskra" of Bogorodsky district, Nizhny Novgorod region. Assessment of heterogeneity level of the indices of examined soil's phosphatic state in 2012—2013 has been conducted. High soil provision of the farm with labile forms of phosphor has been pointed out; the proportion of conditionally available compounds of this element in composition of its mineral compounds is on average 17—27 %.

**Ключевые слова:** светло-серые лесные почвы; удобрения; фосфатный режим почвы; фракционный состав фосфатов.

**Keywords:** light-gray forest soils; fertilizers; phosphatic regime of soil; fractional composition of phosphates.

Проблема фосфора в современном земледелии является актуальной, и это вполне обоснованно. Во-первых, фосфор обладает слабой доступностью для растений и низкой подвижностью в почве, во-вторых, общее содержание данного элемента в большинстве почв ниже, чем азота [4, с. 9], и несопоставимо меньше, чем калия. Кроме этого, запасы фосфатного сырья для производства удобрений ограничены, причем часть из них практически непригодна для получения водорастворимых удобрений.

Применение удобрений является важнейшим приемом поддержания бездефицитного баланса биогенных элементов в пахотных почвах, и, как следствие, повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Многолетнее внесение фосфорсодержащих удобрений увеличивает валовое содержание фосфора в пахотном слое, запасы его усвояемых соединений и доступность культурным растениям. Другим аспектом антропогенного влияния на почву является нарушение сложившегося равновесия между органическими и минеральными формами фосфора в разных типах почв. Кроме этого, качественные характеристики почвы даже в рамках одного паспортизуемого участка могут существенно варьировать, и, следовательно, «равномерность» распределения удобрений даст значительно меньший эффект, чем «точечное» их внесение в соответствии с фактической «пестротой» плодородия конкретного участка. Это свидетельствует о необходимости изучения неоднородности качественной характеристики пахотного слоя почвы, используя полученные данные для разработки системы удобрения в рамках точечного земледелия.

Цель нашей работы состояла в изучении влияния многолетнего применения удобрений на фосфатный режим светло-серой лесной легкосуглинистой освоенной почвы в условиях производства ООО «Агрофирма «Искра» Богородского района Нижегородской области и оценке степени неоднородности показателей фосфатного состояния исследуемой почвы за 2012—2013 гг. (паспортизуемый участок № 36 площадью 121,3 га).

Почву для анализов отбирали в апреле (до начала посевных работ) в 2012 и в 2013 годах по 12 смешанных образцов, состоящих из 60 индивидуальных проб в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 28168-89 «Почвы. Отбор проб»). При анализе почвенных образцов и характеристике вариационного ряда показателей применяли методики, используемые в современной агрохимической практике [1, с. 94—95, 116—120; 2, с. 160—164]. Химические анализы проведены в лабораториях кафедры агрохимии и агроэкологии Нижегородской ГСХА.

Работа проводилась под руководством доктора с.-х. наук, профессора кафедры агрохимии и агроэкологии НГСХА Варламовой Л.Д. и главного агронома хозяйства Ильина А.А.

Основным приемом использования минеральных удобрений в последние годы является рядковое их внесение (диаммофоска), аммиачную селитру применяют в качестве основного (допосевого) удобрения и для подкормок. Органические удобрения в 2012—2013 гг. не вносили, известкование не проводили. В 2012 г. под яровую пшеницу использовали азотные удобрения в количестве 50 кг д.в./га для подкормок, в 2013 г. при возделывании картофеля вносили диаммофоску и аммиачную селитру в общем количестве  $N_{100}P_{120}K_{120}$ .

Данные изучения фосфатного режима почвы участка № 36 в 2012—2013 гг. представлены в таблице 1. Содержание фосфора, характеризующее его общий запас, варьирует от 0,096 до 0,131 %, что в целом характерно для почв данного подтипа. При коэффициенте вариации, равном 8 %, незначительной пространственную обеспеченность почвы одного поля данным элементом назвать нельзя. Так, общий запас фосфора в пахотном слое почвы будет варьировать от 2,9 до 3,9 т/га, что, естественно, отразится и на запасе подвижных, доступных для растений формах данного элемента.

Доля минерального фосфора в представленных образцах составляет 83—88 %, коэффициент пространственного варьирования по значению сопоставим с коэффициентом вариации содержания валового фосфора. Доля органофосфатов в составе общего его запаса составляет в среднем 15 %, изменяясь в пределах от 12 до 17 %,

что близко по значению среднестатистическим показателям для данного подтипа почв. Коэффициент вариации (12 %) говорит о более значительном варьировании данной группы почвенных фосфатов.

Содержание подвижных соединений фосфора в почве анализируемого участка изменяется от высокого до очень высокого. В 2012 г. 17 % площади участка характеризовалась высоким содержанием данного элемента, а 83 % — соответственно очень высоким. В 2013 г. очень высокое содержание подвижных форм фосфора выявлено лишь на 58 % площади участка. Вариабельность данной формы фосфора в почве составила 13 % в 2012 г. и 9 % в 2013 г.

*Таблица 1.*

**Фосфатный режим почвы участка № 36, 2012—2013 гг.**

№ п/п	Показатель	Характеристика вариационного ряда		
		lim	M±m	V, %
МГ/КГ ПОЧВЫ				
2012 г.				
1	P <sub>вал.</sub>	965÷1315	1200±18,8	8
2	P <sub>мин.</sub>	776÷1073	1024±19,1	9
3	P <sub>орг.</sub>	146÷217	178±4,5	12
4	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	215÷388	301±7,9	13
5	Rs-P	6÷8	7±0,2	10
6	Al-P	123÷152	138±2,6	7
7	Fe-P	336÷389	360±4,5	4
8	Ca-P	242÷327	292±8,6	9
2013 г.				
9	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	235÷322	273±5,2	9
10	Rs-P	5÷9	7±0,3	17
12	Al-P	138÷200	168±5,4	11
13	Fe-P	325÷368	348±4,6	5
14	Ca-P	231÷293	262±6,3	8

*Примечание.* M — среднее, m — ошибка среднего, lim — размах вариации (интервал изменения показателей), V — коэффициент вариации, Rs-P — рыхлосвязанные фосфаты, Al-P — алюмофосфаты, Fe-P — железофосфаты, Ca-P — кальцийфосфаты

Оценивая фракционный состав неорганического фосфора, отмечаем, что в почве преобладают фосфаты железа, кальция и алюминия [3, с. 26; 4, с. 13].

Доля железофосфатов может сильно варьировать в зависимости от типа почвы, степени ее окультуренности и способа использования. По данным В.И. Титовой с соавторами [4, с. 129], содержание

фосфатов алюминия и железа может достигать 70 % от суммы минерального запаса фосфора в почве, при этом отмечено преобладание Fe-P над Al-P, а по результатам исследований Орлова П.В. и др. [3, с. 25], доля Fe-P в серых лесных почвах составляет 34—39 %.

В наших опытах содержание железозосфатов варьировало от 19 до 44 %, достигая 389 мг/кг почвы в 2012 г. и 368 мг/кг — в 2013 г. Доля кальцийфосфатов составила 27 % при фактическом содержании в почве 242—327 мг/кг в 2012 г. и 231—293 мг/кг в 2013 г. Долевое участие алюмофосфатов в формировании группы минерального фосфора составило 12—19 %, а рыхлосвязанных фосфатов — менее 1 %.

Наибольшей стабильностью (коэффициент вариации 4 % и 5 %) характеризуется фракция железозосфатов, значение которой в питании растений минимально. Несколько большую доступность для растений имеют алюмофосфаты (коэффициент вариабельности 7 % и 11 %). Наиболее доступной для растений является фракция рыхлосвязанных фосфатов, представленная в почве преимущественно солями ортофосфорной кислоты со щелочными металлами (одновалентными катионами). Содержание рыхлосвязанных фосфатов в условиях наших исследований не превышало 9 мг/кг, коэффициент вариации составил 10 % и 17 %, что говорит о значительной «пестроты» пространственного распределения по площади поля, и, как следствие, неравномерном обеспечении питания культур фосфором.

Представленные фракции фосфора характеризуют относительно подвижные соединения данного элемента в почве [4, с. 116], в сумме составляют 67—92 % от минерального его запаса. Доля неизвлекаемых фосфатов, к которым отнесены труднорастворимые фосфаты железа, алюминия, алюможелезозосфаты, фосфаты невыветрившихся минералов материнской породы составила соответственно 8—33 %.

Представленные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы.

Наибольшей «пестротой» распределения в пахотном горизонте исследуемого участка обладают органические, подвижные и рыхлосвязанные фосфаты, т. е. наиболее доступные для питания растений. Применяемая в хозяйстве система удобрений в целом способствует поддержанию фосфатного режима, благоприятного для возделывания сельскохозяйственных культур.



### **Список литературы:**

1. Агрoхимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. — 656 с.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1973. — 336 с.
3. Орлов П.В., Корченкина Н.А., Нефедьева В.В. Влияние фонов известкования на фракции фосфатов длительно удобряемой светло-серой лесной почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. — 2012. — № 6 (31). — С. 23—27.
4. Титова В.И., Шафронов О.Д., Варламова Л.Д. Фосфор в земледелии Нижегородской области. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. — 219 с.

## 4.5. ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

### ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТЕЙ ТРЕХ ПОПУЛЯЦИЙ ТИПА «ХИЩНИК-ДВЕ ЖЕРТВЫ» С НЕПЕРЕКРЫВАЮЩИМИСЯ ПОКОЛЕНИЯМИ

*Аматов Михаил Александрович*

*канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математического анализа  
Белгородского государственного национального  
исследовательского университета,  
РФ, г. Белгород  
E-mail: [amatovm@bsu.edu.ru](mailto:amatovm@bsu.edu.ru)*

*Аматова Галина Михайловна*

*канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры педагогики и методики  
начального образования Белгородского государственного  
национального исследовательского университета,  
РФ, г. Белгород.  
E-mail: [amatova@bsu.edu.ru](mailto:amatova@bsu.edu.ru)*

### POPULATION DYNAMICS IN THE 'PREDATOR-TWO PREYS' MODEL WITH NON-OVERLAPPING GENERATIONS

*Mikhail Alexandrovitch Amatov*

*candidate of physical and mathematical sciences, docent, department  
of mathematical analysis, Belgorod State National Research University,  
Russia, Belgorod*

*Galina Mikhaylovna Amatova*

*candidate of physical and mathematical sciences, docent, department  
of pedagogic and methods of elementary education,  
Belgorod State National Research University,  
Russia, Belgorod*

## АННОТАЦИЯ

В статье исследуются экологические приложения уравнений в конечных разностях с разрывными правыми частями. С помощью авторской методики доопределения уравнений на поверхностях разрыва и компьютерного моделирования установлено, что при определенных значениях параметров в системе «хищник-две жертвы» с неперекрывающимися поколениями, существуют экологически устойчивые режимы.

## ABSTRACT

The paper deals with ecological applications of finite-difference equations with discontinuous right-hand sides. An original method of equations extensive definitions on the discontinuity surface has proven the existence of ecologically stable modes at certain parameter values in the ‘predator-two preys’ model with non-overlapping generations.

**Ключевые слова:** динамика численности популяций; уравнения в конечных разностях; особые точки; разрывные правые части; скользящие режимы; «хищник-две жертвы».

**Keywords:** population dynamics; finite-difference equations; singular points; discontinuous right-hand sides; slide mode; “predator-two preys”.

Разностные уравнения для описания динамики численностей популяций с неперекрывающимися поколениями, могут быть получены либо с помощью «гипотезы встреч», предложенной еще В. Вольтера [4, с. 22], либо из дифференциальных уравнений [5, с. 18]. В том и другом случаях система трех популяций «хищник-две жертвы» будет описываться системой разностных уравнений (1):

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k \cdot (a - b \cdot z_k), \\ y_{k+1} = y_k \cdot (c - d \cdot z_k), \\ z_{k+1} = z_k \cdot (e + h \cdot x_k + g \cdot y_k), \\ (k = 0, 1, 2, \dots), \end{cases} \quad (1)$$

где:  $a, b, c, d, e, h, g$  — положительные константы,

$x_k, y_k$  — численности жертв в момент времени  $t_k$ ,

$x_{k+1}, y_{k+1}$  — их численности в следующий момент  $t_{k+1}$ .

Из биологических соображений следует считать, что  $a > 1, c > 1, e < 1$ .

Выбрав в первом октанте  $R_+^3$ , произвольную точку  $M_0(x_0, y_0, z_0)$  с помощью уравнений (1) получим последовательность точек  $M_k(x_k, y_k, z_k)$  где  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Соединив каждые две соседние точки  $M_k$  и  $M_{k+1}$  отрезками прямых, получим ломаную  $L$ , которую и будем называть траекторией системы (1).

Последовательности вершин  $\{M_k\}$  траектории  $L$  могут быть получены и как итерации отображения  $T$ :

$$T : \begin{cases} \bar{x} = x \cdot (a - b \cdot z), \\ \bar{y} = y \cdot (c - d \cdot z), \\ \bar{z} = z \cdot (e + h \cdot x + g \cdot y). \end{cases}$$

Из биологического смысла ясно, что для всех  $k = 0, 1, 2, \dots$  должны выполняться неравенства  $x_k > 0$ ,  $y_k > 0$ ,  $z_k > 0$ , т. е.  $M_k \in R_+^3$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ). Если же  $M_k \notin R_+^3$  при каком-либо значении  $k$ , то биологически это означает гибель, по крайней мере, одной из популяций, а значит вырождение всей системы.

Легко проверить, что  $T$  отображает область  $\Omega = \{(x, y, z) \mid x, y > 0, z \geq m\}$ , где  $m = \min\{a/b, c/d\}$ , во множество  $R^3 \setminus R_+^3$ . Это означает, что если при некотором  $k = 1, 2, \dots$ ,  $M_k \in \Omega$ , то  $M_{k+1} \in R^3 \setminus R_+^3$ , т. е. система вырождается. Покажем, что при любом выборе начальной точки  $M_0 \in R_+^3$  траектория  $L$  системы (1), начинающаяся в  $M_0$ , за конечное число шагов покинет область  $R_+^3$ .

Рассмотрим бесконечную последовательность областей  $A_k$  ( $k = 1, 2, \dots$ ), задаваемых неравенствами:

$$A_k : \begin{cases} e + h \cdot x + g \cdot y > 1, x, y > 0, \\ \frac{m}{(e + h \cdot x + g \cdot y)^k} \leq z \leq \frac{m}{(e + h \cdot x + g \cdot y)^{k-1}}, (k = 1, 2, 3, \dots) \end{cases}$$

Легко проверить, что  $T : A_{k+1} \rightarrow A_k$ ,  $T : A_1 \rightarrow \Omega$ . При этом объединение  $A = \bigcup_{k=1}^{\infty} A_k$  совпадает с областью  $B = \{(x, y, z) \mid e + hx + gy > 1, x, y > 0, 0 < z < m\}$ .

Из равенства  $A = B$  следует, что для любой точки  $M_0 \in B$  найдется номер  $k$  такой, что  $M_0 \in A_k$ . Но тогда, используя отображение  $T$ , имеем  $M_s = TM_{s-1}$ , ( $s = 1, 2, \dots$ )  $M_k = TM_{k-1} \in \Omega$ , т. е. одна из популяций погибает.

Обозначим через  $A_0$  область, задаваемую неравенствами

$$A_0 : \begin{cases} e + hx + gy < 1, \\ x > 0, y > 0, 0 < z < m \end{cases}$$

и представляющую собой внутренность прямой треугольной призмы.

Рассуждая методом от противного, докажем, что любая траектория  $L$ , начинающаяся в точке  $M_0 \in A_0$ , за конечное число шагов выходит из области  $A_0$  и попадает в область  $B$ .

Действительно, предположим, что траектория  $L$  целиком лежит в области  $A_0$ . Тогда последовательность  $\{M_k\}$  вершин траектории  $L$  будет иметь, по меньшей мере, одну предельную точку, лежащую в замыкании  $\bar{A}_0$ .

Из неравенства  $e + hx_k + gy_k < 1$  следует, что  $z_{k+1} = z_k \cdot (e + hx_k + gy_k) < z_k$ , т. е. последовательность аппликат

$\{z_k\}$  вершин  $M_k$  ломаной  $L$  строго убывает. Из убывания  $\{z_k\}$  и свойств отображения  $T$  на границе области  $A_0$  легко устанавливается, что последовательность  $\{M_k\}$  не имеет предельных точек в  $\overline{A_0}$ .

Полученное противоречие доказывает, что любая траектория  $L$ , начинающаяся в области  $A_0$ , за конечное число шагов выходит из нее и попадает сначала в область  $B$ , а затем в  $\Omega$ , что и означает вырождение системы (1).

Однако в реально существующих экосистемах типа «хищник-две жертвы» все три популяции, как известно, существуют (при отсутствии вмешательства извне) тысячелетиями, и ни одна из них не исчезает и не имеет неограниченно растущую численность [6]. Это свидетельствует о том, что, уравнение (1), с постоянными коэффициентами не вполне адекватно отражают поведение реальных экосистем. Чтобы иметь математическую модель, более корректно описывающую динамику численностей таких популяций, следует полагать, что некоторые из коэффициентов системы (1) зависят от фазовых переменных.

Зависимость коэффициентов системы (1) от фазовых переменных может быть найдена экспериментально. Но в таком случае каждую экологическую систему придется исследовать отдельно, что затруднит выявление общих закономерностей. Избежать этих затруднений позволяет использование разностных уравнений с разрывными правыми частями.

Заменим систему разностных уравнений (1) системой уравнений с кусочно-непрерывными правыми частями. По аналогии с работой [1] будем считать, что динамика численностей популяций задается кусочно-непрерывными разностными уравнениями (2), (3), имеющими разрыв на части плоскости  $y = x$ , лежащей в  $R_+^3$ .

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k \cdot (a - b_1 \cdot z_k), \\ y_{k+1} = y_k \cdot (c - d_1 \cdot z_k), \\ z_{k+1} = z_k \cdot (e + h_1 \cdot x_k + g_1 \cdot y_k), \end{cases} \quad (2)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots),$$

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k \cdot (a - b_2 \cdot z_k), \\ y_{k+1} = y_k \cdot (c - d_2 \cdot z_k), \\ z_{k+1} = z_k \cdot (e + h_2 \cdot x_k + g_2 \cdot y_k), \\ (k = 0, 1, 2, \dots), \end{cases} \quad (3)$$

Определение решения системы (2), (3) приведено в работах [2] и [3]. Не ограничивая общности рассуждений, можно считать, что  $a > c$ . Поверхность разрыва  $y = x$  делит  $R_+^3$  на две части:

$$G^- = \{(x, y, z) \mid 0 < x < +\infty, 0 < y < x, 0 < z < +\infty\} \text{ и}$$

$$G^+ = \{(x, y, z) \mid 0 < x < +\infty, x < y < +\infty, 0 < z < +\infty\}.$$

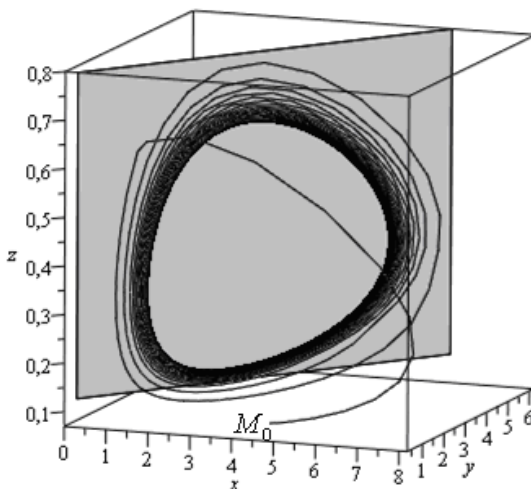
Динамика изменения численностей популяций типа «хищник-две жертвы» задается системой уравнений (2) в области  $G^-$  и системой (3) в области  $G^+$ .

Кусочно-непрерывные разностные уравнения (2), (3) всегда имеют непустую область скользящих движений  $D_0$ . При пересечении траекторией области скользящих движений дальнейшее движение происходит по плоскости  $y = x$ . Мы не выписываем здесь уравнения скользящих движений и доказательство того, что их особая точка лежит в области  $D_0$ , в виду их громоздкости.

С помощью программ для построения траекторий кусочно-непрерывных разностных уравнений, описанных в работах [2] и [3], удалось доказать, что существуют значения параметров системы (2), (3) при которых в ней имеют место устойчивые в биологическом смысле колебания.

Например, если в системе (2), (3) положить  $a = 1,24$ ,  $c = 1,124$ ,  $0,785$ ,  $b_1 = 1$ ,  $d_1 = 0,1$ ,  $h_1 = 0,06$ ,  $g_1 = 0,03$ ,  $b_2 = 0,5$ ,  $d_2 = 0,4898$ ,  $h_2 = 0,01$ ,  $g_2 = 0,05$ , то в ней возникают некие подобия предельных циклов (лежащих в области  $D_0$  скользящих движений на плоскости  $y = x$ ), на которые навивают все близле-

жащие траектории. На рис. 1 изображена траектория, начинающаяся в точке  $M_0(4,53; 0,42; 0,1)$ , которая навивается на «цикл».



**Рисунок 1. Предельный цикл системы (2), (3). Область скользящих движений затемнена**

Нетрудно найти значения параметров, при которых все траектории системы (2), (3) будут покидать область  $R_+^3$ . Не приводя здесь такие значения, отметим лишь тот факт, что зависимость коэффициентов уравнений (1) от фазовых переменных оказывается условием необходимым, но не является достаточным для устойчивости экосистемы «хищник-две жертвы».

### **Заключение**

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. *Необходимым условием установления устойчивых режимов в рассматриваемых экосистемах является зависимость коэффициентов уравнений от фазовых переменных, то есть от численностей этих популяций.*
2. *В отличие от систем с перекрывающимися поколениями в уравнениях динамики популяций с неперекрывающимися поколениями существуют области  $\Omega$ , при попадании в которые происходит вырождение системы. Это свидетельствует о большей уязвимости*



таких систем по отношению к внешним воздействиям. Если численности популяций резко меняются и изображающая точка попадает в область  $\Omega$ , то, по меньшей мере, одна из популяций гибнет. Такая ситуация может быть спровоцирована воздействием человека.

3. Как следствие проведенного исследования, математически доказанным становится тот факт, что экологически устойчивой система «хищник-две жертвы» может быть только в том случае, если в периоды снижения численности медленнее растущей популяции хищник начинает интенсивней поедать ту популяцию, которая растет быстрее.

### Список литературы:

1. Амадова Г.М. Исследование модели взаимодействия трех популяций, связанных трофическими отношениями / Г.М. Амадова, М.А. Амадов, И.С. Кузнецова, С.А. Кунгурцев, Н.А. Чеканов // Экологические системы и приборы. — 2009. — № 7. — С. 31—40.
2. Амадов М.А. Компьютерное моделирование процессов, описываемых разрывными уравнениями в конечных разностях / М.А. Амадов, Г.М. Амадова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. — 2013. — № 2(46). — С. 32—38.
3. Амадов М.А. Реализация математической модели динамики систем кусочно-непрерывных уравнений в конечных разностях / М.А. Амадов, Г.М. Амадова // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2013. — № 2(47). — С. 29—33.
4. Вольтера В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтера. М.: Наука, 1976. — 285 с.
5. Пых Ю.А. Равновесие и устойчивость в моделях популяционной динамики / Ю.А. Пых. М.: Наука, 1983. — 182 с.
6. Яхонтов В.В. Экология насекомых / В.В. Яхонтов М.: Высшая школа, 1964. — 459 с.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ В БЫТУ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

***Лыгин Сергей Александрович***

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

***Нуртдинова Расиля Рафилевна***

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

## **ECOLOGICAL ASPECTS OF SYNTHETIC DETERGENT AND DOMESTIC OF INDUSTRY**

***Sergei Lygin***

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

***Rasily Nurtdinova***

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

### **АННОТАЦИЯ**

В статье поднимается вопрос проблемы защиты окружающей среды и выбора синтетических моющих средств, которые в меньшей степени наносят ущерб природе. Рассмотрены экологические аспекты использования синтетических моющих средств (СМС) в быту и промышленности и предложены возможные способы решения этих проблем.

## ABSTRACT

In article the question of a problem of protection of an environment and a choice of synthetic washing-up liquids which to a lesser degree damage to the nature rises. Ecological aspects of use of synthetic washing-up liquids in a life and the industry are considered and possible ways of the decision of these problems are offered.

**Ключевые слова:** экология; синтетические моющие средства; поверхностно-активные вещества; отдушка; химические отбеливатели; биодобавки.

**Keywords:** ecology; synthetic detergents; surfactants; flavouring agent; chemical bleaches; biologically active additives.

В связи с быстрыми темпами развития химической промышленности, появилось огромное количество разнообразных товаров бытовой химии, получивших широкое распространение. Современный быт человека в настоящее время уже нельзя представить без использования различных моющих средств. Популярность моющих и чистящих средств неуклонно растет, расширяются области их применения, увеличивается выпуск.

Многие ведут споры о пользе или вреде моющих средств, но никто не может прийти к единому мнению. Одни считают, что средства, из-за своего химического состава приносят только вред, оказывая пагубное влияние на кожу и организм в целом. Ещё одним неоспоримым фактом вреда синтетических моющих средств (СМС) является то, что после использования, как правило, попадают в окружающую среду. Некоторые через очистные сооружения, а около 30 %, особенно в сельской местности, попадают в почву (сад, огород, улица) напрямую.

Другие утверждают, что моющие средства не могут нанести вред организму, так как их основная задача — очищение кожи, посуды, одежды и т. д. Так или иначе, можно считать, что обе стороны правы. Современному человеку очень сложно обходиться без СМС, ведь сейчас темп жизни людей носит ускоренный характер, а СМС, обладающие свойствами быстро и эффективно справляться с бытовыми проблемами (удаление пятен, жира и т. д.) стали необходимой потребностью практически каждого человека. Это экономит массу времени и сил, что является большим плюсом в пользу СМС.

Но в составе моющих средств содержится большое количество вредных для организма веществ, что объясняет присутствие опасности в этих средствах. Все товары различаются по своему химическому

составу и степени опасности, которую они представляют для людей и окружающей среды при неумелом использовании.

В настоящее время, как никогда, *актуальна* проблема защиты окружающей среды, и выбор СМС, которые в меньшей степени наносят ущерб природе, имеет значительную роль.

*Цель работы* — выявить экологические аспекты использования синтетических моющих средств в повседневной жизни и промышленности.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- изучить химический состав синтетических моющих средств;
- выявить некоторые экологические проблемы, связанные с производством СМС;
- выявить некоторые экологические проблемы, связанные с использованием СМС в быту;
- привести некоторые способы решения этих проблем.

СМС — это многокомпонентные композиции, применяемые в водных растворах для интенсификации удаления загрязнений с различных твердых поверхностей — тканей, волокон, металлов, стекла, керамики. В более узком смысле под синтетическими моющими средствами обычно понимают бытовые средства для стирки белья и мытья посуды [2].

Основные компоненты СМС и их назначение, приведены в таблице 1.

**Таблица 1.**

**Основные компоненты синтетических моющих средств  
и их назначение**

<i>Компонент</i>	<i>Назначение</i>
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	Моющее действие. Анион активные ПАВ лучше моют в щелочной среде. Катион активные ПАВ используют так же как ингибиторы коррозии (для защиты стиральных машин), антистатики, эмульгаторы; обладают дезинфицирующим действием
Щелочные соли — карбонат и силикат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ и $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )	Замедляют коррозию металлических частей стиральных машин, уменьшает гигроскопичность порошкообразных СМС

Нейтральные соли — сульфат и фосфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ и $\text{Na}_3\text{PO}_4$ )	Улучшают сыпучесть порошка и его растворимость в воде, увеличивают моющую способность СМС. Фосфорные соли используют для снижения щелочности моющих растворов до $\text{pH} = 7$ . Полифосфаты устраняют налет на тканях, образованный малорастворимыми соединениями, снижают зольность тканей
Химические отбеливатели (персоли, перекись водорода)	Отбеливание тканей
Физические (оптические) отбеливатели — флуоресцирующие соединения	Придают эффект белизны за счет преобразования падающего света и отражение от ткани в голубой области спектра
Адсорбционные красители (ультрамарин, индиго, синтетические органические пигменты)	Действие основано на оптическом эффекте — адсорбция на поверхности тканей без химического воздействия. Ткань приобретает яркость за счет голубого или розового оттенков
Биодобавки — ферменты (липазы, протеазы и др.)	Удаляют загрязнения и пятна органического происхождения (липиды, белковые вещества, следы крови и др.)
Отдушки	Придание аромата продукции, ароматизация белья
Антистатика	Для снятия статического электричества

Кроме этих основных компонентов, СМС могут содержать и другие добавки, так как рецептура производства у каждого производителя разная.

Уже при производстве СМС, приходится сталкиваться с проблемой загрязнения окружающей среды.

При производстве синтетических моющих средств в окружающую среду выбрасываются отработанный теплоноситель, содержащий пыль СМС, отработанные газы отделения сульфирования (сульфатирования) воздух аэролизаторов и воздух после рукавных

фильтров аспирационных систем (с участков пыления при транспортировке, растарке, перегрузке и переработке компонентов и готового продукта). Пыль (или аэрозоль) компонентов СМС и готового продукта состоит из макроскопических частиц размерами менее 1 мкм. Скорость осаждения частиц аэрозоля очень мала, и они могут неопределенно долгое время находиться во взвешенном состоянии. Пыли, как порошки, обычно полидисперсны, т. е. частицы их дисперсной (твердой) фазы имеют неодинаковый размер.

Для очистки газов и воздуха от пыли применяются пылеулавливатели и воздушные фильтры. Пылеулавливатели служат для предварительной очистки газов и воздуха с целью улавливания пыли для возврата ее в производство и для их санитарной очистки перед выбросом в атмосферу. Фильтры служат для очистки воздуха, используемого в пневмотранспортирующих линиях, и воздуха аспирационной системы [1].

СМС оказывают пагубное влияние и на организм человека, оказывая раздражающее воздействие на кожу при длительном контакте.

Раздражающее воздействие зависит от химического строения ПАВ в составе СМС, которые проникая в организм через кожу, накапливаются в печени и головном мозге. ПАВ, проникая через кожу, ослабляет её защитную барьерную функцию, способствуя тем самым поступлению других химических веществ в организм.

Как уже было сказано, отработанные СМС попадают в водоёмы и почву, тем самым загрязняют их. Компоненты СМС оказывают пагубное влияние на живые организмы.

Выше сказанное было подтверждено опытом — действием СМС на земельный участок. Был проведён эксперимент с редисом. Для проведения опыта был посажен «Редис розово-красный с белым кончиком». В качестве анализируемого средства было взято жидкое моющее средство (ЖМС) для посуды «Биолан: лимонная свежесть».

На второй день после появления всходов, рассада была полита раствором ЖМС (400мл воды+20 мл средства). Результаты представлены на рис. 1.



**А** **Б**  
**Рисунок 1. Рассада редиса: А — до полива; Б — после полива раствором ЖМС (400 мл воды+20 мл средства)**

На рисунке видно, что первоначально всходы редиса были плотные, после полива рассада редиса представляет собой разрозненные, единичные, погибающие ростки редиса. Изначально почва имела чёрный цвет, что говорит о наличии хорошего гумусного покрова, после полива почва приобрела серый оттенок.

На основании этих данных можно сделать вывод о том, что живые организмы окружающей среды очень болезненно реагируют на попадание растворов СМС.

Основными источниками индустриального загрязнения поверхностно-активными веществами окружающей среды, главным образом водоёмов, являются текстильная, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленности [4]. Соединения фосфора, содержащиеся, практически, во всех СМС, попадая в водоёмы, способствуют бурному развитию микроскопических водорослей, приводит к цветению воды и нарушению жизнедеятельности водных экосистем. Даже незначительное содержание ПАВ в водоёмах приводит к интенсивному пенообразованию и нарушению кислородного режима, что создаёт неблагоприятные условия для процессов естественного самоочищения водных систем, ухудшает качество воды, приводит к болезням обитателей водоёмов, представляет опасность для здоровья людей [3].

Чтобы защитить водоёмы от компонентов СМС нужно, в первую очередь, стараться не сливать сточные воды в водоёмы, а делать это в специальных местах. Существуют множество методов очистки воды. В качестве традиционных методов очистки сточных вод от ПАВ наиболее используемыми являются: сорбционные методы, флотация и реагентная обработка.

Но окружающую среду загрязняют не только сами СМС, а также и тара, в которой они выпускаются, ведь после использования,

значительное количество полимерной тары оказывается просто «выброшенной на улицу», тем самым загрязняя природу.

Но это только лишь часть проблем, связанных с использованием СМС.

Из всего этого, можно сделать вывод, что СМС, несмотря на их пользу в экономии нашего времени, также наносят значительный вред окружающей среде и здоровью людей. Доведение до минимума этого вреда зависит только от нас самих. Разумно бы было полностью отказаться от применения СМС в пользу натуральных моющих и чистящих средств, хотя бы в быту, но современный человек не сможет этого сделать. И тогда нам надо хотя бы научиться использовать СМС грамотно, с умом, заботясь о нашей природе.

### **Список литературы:**

1. Ковалев В.М., Петренко Д.С. Технология производства синтетических моющих средств: Учебное пособие М. «Химия», 1992, — 176 с.
2. Синтетические моющие средства. — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4082.html> (дата обращения 19.02.2014).
3. Стрельцова Е.А., Пузырева И.В., Волювач О.В., Егорцева В.А. Интенсификация процесса флотационного выделения поверхностно-активных веществ из техногенных водных растворов. — [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL:[http://www.rusnauka.com/ 7\\_NND\\_2009/Ecologia/42908.doc.htm](http://www.rusnauka.com/7_NND_2009/Ecologia/42908.doc.htm) (дата обращения 24.02.2014).
4. Шевурдяев О.Н., Белов П.С., Шкитов А.М. — Основы технологии поверхностно-активных веществ и синтетических моющих средств. М., 2001, — 181 с.



## СЕКЦИЯ 5.

### ХИМИЯ

#### 5.1. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

##### НОВЫЙ НИОБАТ ЛИТИЯ-МАРГАНЦА (II) СО СТРУКТУРОЙ ТИПА NaCl

*Ганноченко Алексей Анатольевич*

*канд. хим. наук, преподаватель, средняя школа № 6,  
РФ, г. Таганрог*

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

##### NEW LITHIUM MANGANESE (II) NIOBATE WITH NaCl STRUCTURE

*Alexey Gannochenko*

*candidate of Science, lecturer, medium school № 6,  
Russia, Taganrog*

#### АННОТАЦИЯ

Методом рентгенофазового анализа изучено фазообразование на сечении  $\text{Li}_3\text{NbO}_4\text{-MnO}$  в тройной системе  $\text{Li}_2\text{O-MnO-Nb}_2\text{O}_5$ . Образцы получены методом твердофазного синтеза в атмосфере водорода. Получен новый частично упорядоченный ниобат лития-марганца (II) со структурой каменной соли, проведено полнопрофильное уточнение структуры. Тип упорядочения сопоставлен и обсужден с аналогичными фазами.

#### ABSTRACT

By the XRD, phase formation on the cut  $\text{Li}_3\text{NbO}_4\text{-MnO}$  in the ternary system  $\text{Li}_2\text{O-MnO-Nb}_2\text{O}_5$  was studied. The patterns were prepared by the solid state method in hydrogen atmosphere. A new partially ordered lithium manganese (II) niobate with rock salt structure was obtained, and full profile

refinement was examined. The ordering type was discussed with compare in analogous phases.

**Ключевые слова:** упорядочение; ниобат; марганец; литий; твердофазный синтез; рентгенофазовый анализ; структура каменной соли.

**Keywords:** ordering; niobate; manganese; lithium; solid state synthesis; X-ray diffraction; rock salt structure.

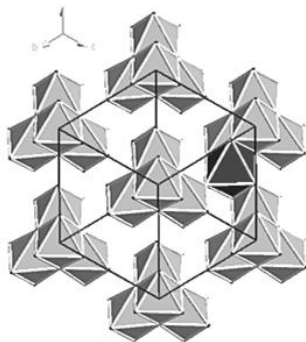
В рамках исследования тройной системы  $\text{Li}_2\text{O}-\text{MnO}-\text{Nb}_2\text{O}_5$  изучено фазообразование в сечении  $\text{Li}_3\text{NbO}_4-\text{MnO}$  при температуре  $\sim 1000^\circ\text{C}$ . Для этого были приготовлены и сделан анализ ряда образцов (табл. 1.), находящихся на сечении и вблизи него.

*Таблица 1.*

**Результаты РФА образцов сечения  $\text{Li}_3\text{NbO}_4-\text{MnO}$**

Состав, изученных образцов, разреза $\text{Li}_3\text{NbO}_4-\text{MnO}$ , мол. %			Фазовый состав образцов по данным РФА
$\text{Li}_2\text{O}$	$\text{MnO}$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$	
30	60	10	$\text{Li}_3\text{Mn}_2\text{NbO}_6 + \text{MnO}$
34	55	11	$\text{Li}_3\text{Mn}_2\text{NbO}_6 + \text{следы MnO}$
37,5	50	12,5	$\text{Li}_3\text{Mn}_2\text{NbO}_6$
41	45	14	$\text{Li}_3\text{NbO}_4 \cdot \text{MnO} + \text{Li}_3\text{Mn}_2\text{NbO}_6$
45	40	15	$\text{Li}_3\text{NbO}_4 \cdot \text{MnO} + \text{Li}_3\text{Mn}_2\text{NbO}_6$
50	33,5	16,5	$\text{Li}_3\text{NbO}_4 \cdot \text{MnO}$
56,5	25	18,5	$\text{Li}_3\text{NbO}_4 \cdot \text{MnO} + \text{следы LiNbO}_3$
60	20	20	$\text{Li}_3\text{NbO}_4 \cdot \text{MnO} + \text{следы Li}_3\text{NbO}_4 + \text{следы LiNbO}_3$
64	15	21	$\text{Li}_3\text{NbO}_4 \cdot \text{MnO} + \text{Li}_3\text{NbO}_4 + \text{следы LiNbO}_3$

Оксид марганца  $\text{MnO}$  имеет структуру типа  $\text{NaCl}$ . Ортониобат лития  $\text{Li}_3\text{NbO}_4$  имеет упорядоченную сверхструктуру от структуры типа  $\text{NaCl}$  [1]. В ней литий и ниобий упорядочены по октаэдрическим позициям. Ниобиевые октаэдры соединены по четыре таким образом, что 4 атома ниобия образуют тетраэдр, причем такие кластеры изолированы (рис. 1).



**Рисунок 1. Полиэдрическая модель структуры  $\text{Li}_3\text{NbO}_4$**

По данным РФА установлено, что образец состава  $\text{Li}_3\text{Mn}_2\text{NbO}_6$  является однофазным. По его дифракционной картине предположили, что соединение имеет структурный тип упорядоченного  $\text{NaCl}$  [2]. По рентгенограмме были определены параметры ячейки. Затем, по аналогии с изоструктурными фазами, в частности, с фазой  $\text{Li}_3\text{Mg}_2\text{NbO}_6$  [3, 4], методом профильного анализа уточнены структурные параметры. В качестве стартовой модели были использованы координаты атомов  $\text{Li}_3\text{Co}_2\text{TaO}_6$  [5] из порошковых данных, полученных методами рентгеновской и нейтронной дифракции.

**Таблица 2.**

**Координаты атомов и заселенности позиций  
в структуре  $\text{Li}_3\text{Mn}_2\text{NbO}_6$**

Атом	Позиции Вайкова	Заселенность	Координаты атомов		
			x/a	y/b	z/c
Nb1	8a	1	1/8	1/8	1/8
Li1	16g	0,739	1/8	1/8	0,29485
Mn1	16g	0,262	1/8	1/8	0,29485
Li2	16g	0,340	1/8	5/8	0,28703
Mn2	16g	0,660	1/8	5/8	0,28703
Li3	8b	0,861	1/8	5/8	1/8
Mn3	8b	0,139	1/8	5/8	1/8
O1	16f	1	1/8	0,35410	1/8
O2	32h	1	0,11287	0,38262	0,29781

Данный структурный тип достаточно распространен при такой стехиометрии, и реализуется в ряде других соединений [2] (табл. 1). Он представляет собой сверхструктуру каменной соли с изолированными октаэдрами ЭО<sub>6</sub>, разделяющими общие ребра с 12 соседними октаэдрами (Li/M)O<sub>6</sub> (рис. 2).

Результаты уточнения структуры Li<sub>3</sub>Mn<sub>2</sub>NbO<sub>6</sub> показывают, что достаточно близкие по размерам и зарядам катионы Li<sup>+</sup> и Mn<sup>2+</sup> частично упорядочены по трем позициям с разной заселенностью. Две из них больше заселены литием, третья — марганцем, причем таким образом, что общее соотношение Li : M = 3 : 2 (табл. 2). Более мелкие катионы Nb<sup>5+</sup> сильно отличаются по заряду от остальных катионов. Вследствие этого, они имеют полностью собственные и обособленные позиции в структуре, поскольку максимальное удаление октаэдров с высокозарядными катионами ослабляет силы электростатического отталкивания между ними. Как видно из табл. 3, увеличение объема элементарной ячейки соединения Li<sub>3</sub>Mn<sub>2</sub>NbO<sub>6</sub> соответствует увеличению радиуса металла M.

**Таблица 3.**

**Параметры ячеек фаз Li<sub>3</sub>M<sub>2</sub>ЭО<sub>6</sub>, ромбическая сингония, пр.гр. Fddd .**

Фаза	<i>a</i> , Å	<i>b</i> , Å	<i>c</i> , Å	<i>V</i> , Å <sup>3</sup>
Li <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> NbO <sub>6</sub>	5,8952	8,5588	17,718	893,97
Li <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> TaO <sub>6</sub>	5,8020	8,8830	17,437	898,69
Li <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub> SbO <sub>6</sub>	5,9080	8,6140	17,759	903,78
Li <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> NbO <sub>6</sub>	5,9069	8,4012	17,750	880,84
Li <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> TaO <sub>6</sub>	5,9073	8,4259	17,733	882,64
Li <sub>3</sub> Ni <sub>2</sub> SbO <sub>6</sub>	5,9071	8,3986	17,748	880,50
Li <sub>3</sub> Co <sub>2</sub> TaO <sub>6</sub>	5,9165	8,5715	17,778	901,56
<b>Li<sub>3</sub>Mn<sub>2</sub>NbO<sub>6</sub></b>	<b>6,0016</b>	<b>8,8292</b>	<b>18,105</b>	<b>959,39</b>

Судя по ранее приведенным в литературе сведениям, самым крупным катионом M<sup>2+</sup>, обнаруженным в этих структурах является Co<sup>2+</sup> (0,885 Å (BC)). Однако нами установлено, что эти позиции может занимать значительно более крупный катион Mn<sup>2+</sup>. Этот результат не противоречит, а только дополняет полученные ранее данные, так как в общем случае, возможность существования структурного типа определяется многими факторами, в частности, соотношением радиусов катионов и анионов, и схожими координационными предпочтениями этих ионов. В случае если в структуре имеется более

одного вида катионов, всегда есть альтернатива: они могут быть упорядочены, либо разупорядочены.

Полученные нами результаты были сопоставлены с данными исследования аналогичных по составу соединений с другими двухвалентными металлами, приведенными в работе [2]. В этой работе описаны результаты уточнения структур четырех соединений (табл. 3). В каждом из них катионы М частично упорядочены с Li по трем позициям M1(16g), M2(16g) и M3(8b) таким образом, чтобы обеспечить наибольшую удаленность катионов  $M^{2+}$  и  $\text{Э}^{5+}$ . Однако, степень упорядочения каждого  $M^{2+}$  с  $\text{Li}^+$  — разная. С одной стороны, чем сильнее отличаются размеры катионов и их эффективные заряды, тем больше вероятность упорядочения. Но эффективный заряд иона зависит от электроотрицательности (ЭО) элемента — чем меньше ЭО элемента М, тем более ионную связь он образует с кислородом, тем больше эффективный заряд иона, тем сильнее он отталкивается от  $\text{Э}^{5+}$ , и тем выгоднее упорядочение. Учитывая эти две тенденции, можно объяснить разную степень упорядочения двухзарядных катионов внутри одного структурного типа.

### Список литературы:

1. Химия твердого тела. Теория и приложения. / Вест А. // В 2-х ч. Ч. 2. Пер. с англ. М.: Мир. 1988. — 336 с.
2. Шукаев И.Л. Твердофазные равновесия, кристаллохимия и ионная проводимость фаз в некоторых тройных системах, содержащих оксиды натрия (лития) и титана (ниобия, тантала): Дис. канд. химич. наук. Ростов-н/Д. 1996. — 217 с.
3. Mather G., Smith R., Skakle J., Fletcher J., Castellanos M., Gutierrez M., West A./ Synthesis and Structures of the Partially Ordered Rock Salt Phases,  $\text{Li}_3\text{M}_2\text{XO}_6$ : M = Mg, Co, Ni; X = Nb, Ta, Sb.// Journal of Materials Chemistry. — 1995. — V. 5 — № 8. — PP. 1177—1182.
4. Mather G.C., Smith R.I., Skakle J.M.S., Fletcher J.G., Castellanos M.A.R., Gutierrez M.P., West A.R./ Synthesis and structures of the partially ordered rock salt phases,  $\text{Li}_3\text{M}_2\text{XO}_6$ : M=Mg, Co, Ni; X = Nb, Ta, Sb.// Journal of Material Chemistry. — 1995. — V. 5. — PP. 1177—1182.
5. Inorganic Crystal Structure Database. 2.01. 1997.

## 5.2. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### СИНТЕЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОРТО-(ЦИКЛО)АЛКЕНИЛАРИЛАМИНОВ

*Кажанова Татьяна Владимировна*

*канд. хим. наук, доцент ОрИПС — филиала СамГУПС,  
РФ, г. Оренбурге*

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

### SYNTHESIS OF BIOACTIVE ORGANIC COMPOUNDS ON THE BASIS OF ORTHO-(CYCLO) ALKENYL ARYLAMINES

*Tatiana Kazhanova*

*candidate of chemical sciences, associate professor of Orenburg Transport  
Institute — branch of Samara State Transport University,  
Russia, Orenburg*

#### АННОТАЦИЯ

Поиск оптимальных условий в синтезе новых соединений на основе *орто*-(цикло)алкенилариламинов с применением промышленно доступных соединений — дициклопентадиена и пиперилена, с последующим превращением их в биологически активные соединения с практически полезными свойствами.

#### ABSTRACT

The article is devoted to searching of optimum conditions in the synthesis of new entities on the basis of *ortho*-(cyclo) alkenyl arylamines using industrial available compounds — dicyclopentadiene and piperylene with its further conversion into bioactive compounds possessing practically useful properties.

**Ключевые слова:** дициклопентадиен; пиперилен; аминокперегруппировка Кляйзена; *орто*-(цикло)алкенилариламины; N- и C-алкениланилины; озонлиз; катализ; циклизация.

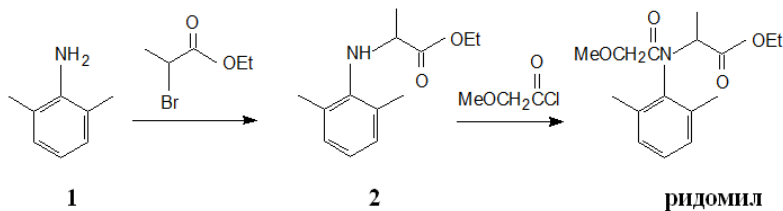
**Keywords:** dicyclopentadiene; piperylene; Claisen amino-rearrangement; *ortho*-(cyclo) alkenyl arylamines; N- and C-alkenyl anilines; ozonolysis; catalysis; cyclization.

Нефтеперерабатывающие химические заводы Башкирии, такие как Стерлитамакский СК «Каучук», ОАО «Салаваторгсинтез» имеют крупнотоннажные жидкие токсичные промышленные отходы, хранящиеся в специальных цистернах на специально отведенных железнодорожных путях. Отходы не находят практического применения, что отрицательно сказывается на экологической обстановке, расположенных вблизи железнодорожного объекта районах, на здоровье людей и окружающую природную среду. Проблемой исследования и обезвреживания жидких токсичных отходов нефтехимии занимаются ученые лаборатории синтеза гетероциклических соединений в институте органической химии Уфимского научного центра РАН. Многолетние исследования ученых показали, что содержащиеся в отходах токсичные вещества, такие как дициклопентадиен и пиперилен, могут являться весьма доступными веществами для синтеза других органических соединений, имеющих биологическую активность и практически полезные свойства. Поэтому поиск оптимальных условий и технологичных методов синтеза новых соединений на основе ароматических аминов и с использованием промышленно доступных дициклопентадиена и пиперилена, с последующим превращением их в биологически активные соединения с практически полезными свойствами является, весьма актуальным и по сей день. Для выполнения данной проблемы были поставлены и решались следующие теоретические и экспериментальные задачи:

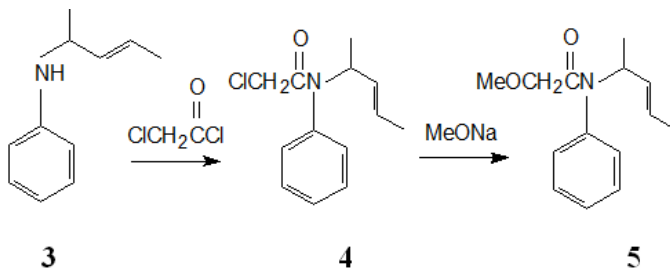
- исследование различных условий применения катализаторов в реакциях прямого алкенилирования анилинов;
- синтез новых соединений на основе различных *орто*-(цикло)алкенилариламинов с использованием промышленно доступных дициклопентадиена и пиперилена;
- поиск новых веществ сочетающих в себе высокую активность и более низкую токсичность с использованием доступных исходных соединений.
- выявление активности полученных соединений: местно-анестезирующей, фунгицидной, противифитофторозной, ростстимулирующей, антибактериальной и др.;
- исследование фрагментов молекул влияющих на активность и токсичность полученных биологически активных соединений.

Из литературных источников известно, что ароматические N- и C-алкениланилины, в том числе циклопент- и пентениланилины, получаемые из промышленно доступных дихлорпентадиена и пиперилена, являются полупродуктами в синтезе некоторых алкалоидов, фунгицидных, местноанестезирующих препаратов, ингибиторов коррозии стали, ростстимулирующих или противифитофторозных агентов. Ароматическая амино-перегруппировка Кляйзена [14] широко применяется для синтеза *орто*-алкениланилинов [1]. Наличие в молекуле нескольких реакционных центров позволяет рассматривать эти соединения как удобные синтоны для получения новых гетероциклических соединений — нуклеозидов, N-гликозидов и азагетероциклов.

Многие биологически активные соединения на основе ароматических аминов или спиртов являются 2,6-диалкилзамещенными производными анилинов или фенолов [4, 3, 10]. К их числу относится высокоактивный против фитофтороза картофеля препарат — ридомил, получаемый из анилина **1**. В синтезе ридомила применяется довольно дорогой этиловый эфир  $\alpha$ -бромпропионовой кислоты и реакция алкилирования идет несколько суток [8].

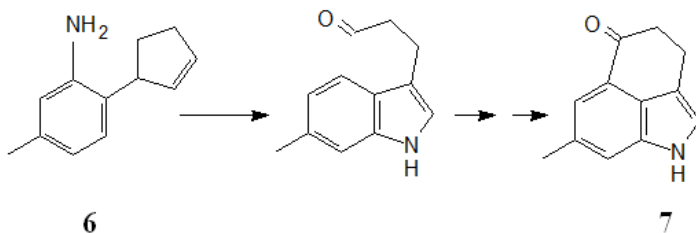


В поисках более доступных реагентов на основе N-пентениланилина **3** был синтезирован аналог ридомила **5**, полевые испытания которого показали высокую активность и ростстимулирующее действие на уровне ридомила [2].

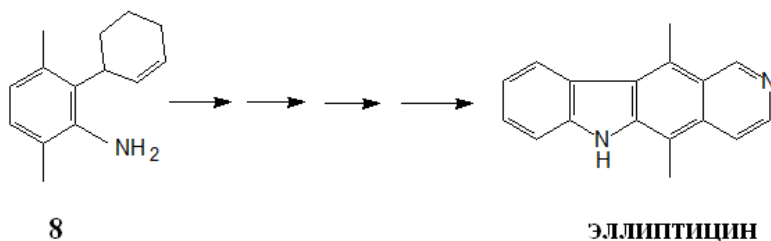




Известны примеры использования *орто*-алкениланилинов в синтезе различных алкалоидов. Так, из 2-циклопентениланилина **6** озонлизом и последующими превращениями был получен алкалоид **7** [13].



В серии работ описывается синтез противоопухолевого алкалоида эллиптицина и его аналогов исходя из *орто*-циклогексениланилинов **8** [5, 6].



Известно, что гетероциклизация N- и C-алкениланилинов проводится фотохимическим методом, а также при использовании в качестве катализаторов кислот, комплексов переходных металлов и галогенидов селенфенилорганических соединений [7, 9, 11, 14]. Но остаются малоизученными методы получения индолинов или хинолинов из *орто*-алкениланилинов. Один из таких перспективных методов основан на применении галогенов, в частности, йода или брома, а также N-бром- и N-йодсукцинимидов и других галогенсодержащих реагентов.

### Список литературы:

1. Абдрахманов И.Б., В.М. Шарафутдинов, Г.А. Толстиков. Амино-кляйзеновская перегруппировка как метод синтеза С-циклоалкениланилинов. Изв. АН СССР. Сер.хим. — 1982. — № 9. — С. 2160.
2. Абдрахманов И.Б., Г.А. Толстиков, И.А. Сагитдинов, Р.Ф. Исаев, В.Г. Коновалов, М.И. Еркеев. N-(1-метил-2-бутенил)-N-(2-этоксиацетил)анилин в качестве регулятора роста картофеля, проявляющего фунгицидную активность против фитофтороза картофеля. // АС СССР № 1489133.
3. Баскаков Ю.А.. Новые синтетические гербициды и регуляторы роста растений. // Журн. ВХО им. Д.И. Менделеева. — 1988. — т. XXXIII. — № 6. — С. 631—640.
4. Мельников Н.Н.. Основные современные тенденции развития производства и применения химических средств защиты растений и регуляторов роста растений. Журн. ВХО им. Д.И. Менделеева. — 1988. — т. XXXIII. — № 6. — С. 602—609.
5. Мустафин А.Г., И.Н. Халилов, И.Б. Абдрахманов, Г.А. Толстиков. Ароматическая аминоперегруппировка Кляйзена в синтезе эллиптицина. // ХПС. — 1989. — Т. 6. — С. 816.
6. Мустафин А.Г., И.Н. Халилов, В.М. Шарафутдинов, Д.И. Дьяченко, И.Б. Абдрахманов, Г.А. Толстиков, Изв. АН СССР, Сер. хим., 1997, 630 [Russ. Chem. Bull., 1997, 46, 608 (Engl. Transl.)].
7. Мустафин А.Г. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Уфа. 1986.
8. Патент Швейцарии. А. Habele. № 609964 // Verfahren zur Herstellung von mikrobiziden Wirkstoffen und ihre Verwendung.
9. Халилов И.Н. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Уфа. 1998.
10. Хаскин Б.А.. Механизм действия системных фунгицидов. // Журн. ВХО им. Д.И. Менделеева. — 1988. — т. XXXIII. — № 6. — С. 698—720.
11. Шабаева Г.Б. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Уфа. 1984.
12. Шарафутдинов В.М. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Уфа. 1982.
13. Danishefsky S., Phillips G.B. A rapid route to ergot precursor via aza-claisen rearrangement. // Tetrahedron Lett. — 1984. — V. 25. — P. 3159—3162.
14. Marcinkiewicz S., J. Green, P. Mamalis. The claisen rearrangement of N-allylamines. // Chem. and Ind. — 1961. — V. 14. — P. 438—439.

**НОВЫЙ ОДНОРЕАКТОРНЫЙ СИНТЕЗ  
МЕТАЛЛО(II)ХЕЛАТОВ ИЗОПРОПИЛОВОГО ЭФИРА  
2-ГИДРОКСИ-4-ОКСО-4-ФЕНИЛ-2-БУТЕНОВОЙ  
КИСЛОТЫ**

***Козьминых Елена Николаевна***

*д-р фарм. наук, канд. хим. наук, профессор кафедры химии  
Пермского государственного гуманитарно-педагогического  
университета,  
РФ, г. Пермь*

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

***Голуб Елена Ефимовна***

*ассистент кафедры химии Пермского  
государственного гуманитарно-педагогического университета,  
РФ, г. Пермь*

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

***Селиванов Алексей Валерьевич***

*студент естественнонаучного факультета Пермского  
государственного гуманитарно-педагогического университета,  
РФ, г. Пермь*

*E-mail: [selivanov\\_aleksej@bk.ru](mailto:selivanov_aleksej@bk.ru)*

***Рискова Татьяна Викторовна***

*студент естественнонаучного факультета Пермского  
государственного гуманитарно-педагогического университета,  
РФ, г. Пермь*

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

***Козьминых Владислав Олегович***

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

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

**THE NEW ONE-POT SYNTHESIS OF METAL(II)  
CHELATES OF ISOPROPYL 2-HYDROXY-4-OXO-4-  
PHENYL-2-BUTENOATE**

***Elena Kozminykh***

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

***Elena Golub***

*assistant of the Chemical Section  
of the Perm State Humanitarian Pedagogical University,  
Russia, Perm*

***Alexei Selivanov***

*student of the Natural Faculty  
of the Perm State Humanitarian Pedagogical University,  
Russia, Perm*

***Tatyana Riskova***

*student of the Natural Faculty  
of the Perm State Humanitarian Pedagogical University,  
Russia, Perm*

***Vladislav Kozminykh***

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

**АННОТАЦИЯ**

Разработан новый одnoreакторный метод получения металло(II) хелатов на основе бидентатного лиганда  $L_2Met$  — изопрропилового эфира 2-гидрокси-4-оксо-4-фенил-2-бутеновой кислоты: *bis*-(1-изопрропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)меди(II) и *bis*-(1-изопрропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)кобальта(II) конденсацией ацетофенона с диэтилоксалатом в присутствии изопрропилата натрия и дальнейшим комплексообразованием при действии водных растворов хлоридов меди(II) или кобальта(II) в кислой среде.

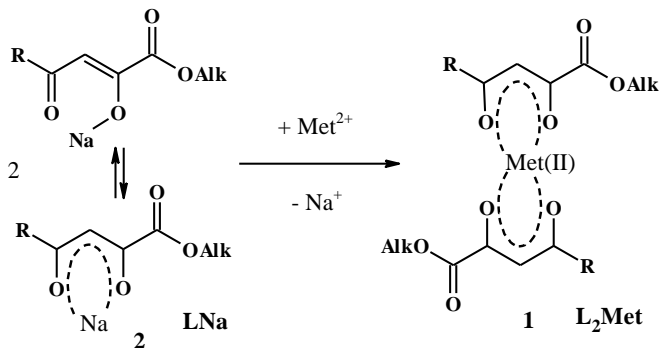
## ABSTRACT

The new one-pot procedure for the synthesis of *metal*(II) chelates based on bident ligand  $L_2Met$  — isopropyl 2-hydroxy-4-oxo-4-phenyl-2-butenolate is worked out. The products named: *bis*-(1-isopropoxy-1-oxo-4-phenyl-2,4-butanedionato)copper(II) and *bis*-(1-isopropoxy-1-oxo-4-phenyl-2,4-butanedionato)cobalt(II) are prepared by condensation of acetophenone with diethyl oxalate in presence of sodium isopropylate on further coordination by adding of copper(II) or cobalt(II) chloride water solutions in acid medium.

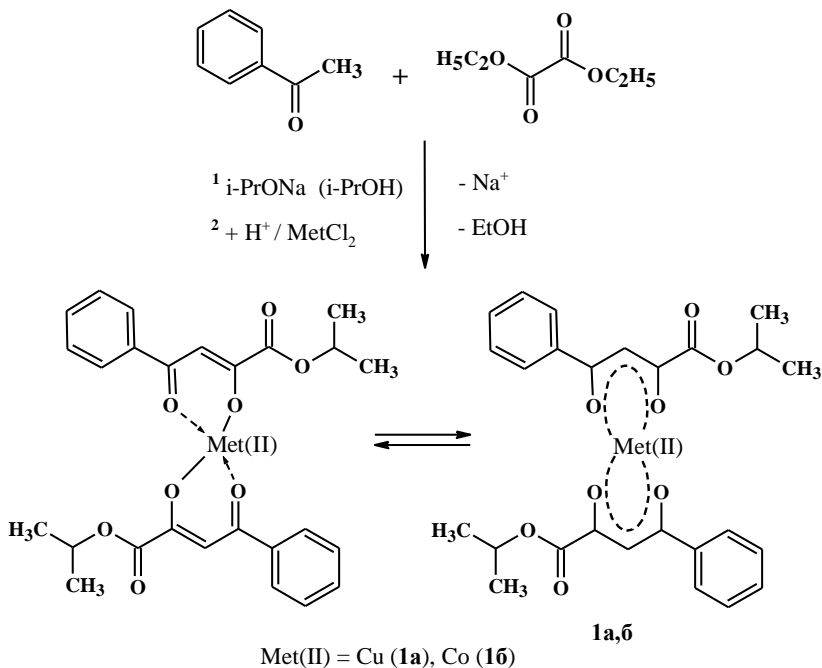
**Ключевые слова:** *металло*(II)хелаты изопропилового эфира 2-гидрокси-4-оксо-4-фенил-2-бутеновой кислоты; *bis*-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)медь(II); *bis*-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)кобальт(II); одnoreакторный синтез; ацетофенон; диэтилоксалат; сложноэфирная конденсация.

**Keywords:** *metal*(II) chelates of isopropyl 2-hydroxy-4-oxo-4-phenyl-2-butenolate; *bis*-(1-isopropoxy-1-oxo-4-phenyl-2,4-butanedionato)copper(II); *bis*-(1-isopropoxy-1-oxo-4-phenyl-2,4-butanedionato)cobalt(II); one-pot synthesis; acetophenone; diethyl oxalate; ester condensation.

Для получения одноядерных бидентатных *bis*(1-оксо-2,4-алкандионато)металлов(II)  $L_2Met$  (**1**) / $L$  — лиганд, Met — атом металла(II)/ — координационных соединений, перспективных в создании органических молекулярных магнетиков и разнообразных полифункциональных наноматериалов [2, 6, 7], — используется реакция металлообмена натриевых енолятов эфиров 4-оксопроизводных 2-гидрокси-2-алкеновых кислот (**2**) в водных растворах с солями металлов(II) [2—7] (см. рисунок). Нами разработан новый простой и удобный одnoreакторный метод получения не известных ранее *металло*(II)хелатов на основе изопропилового эфира 2-гидрокси-4-оксо-4-фенил-2-бутеновой кислоты — *bis*-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)меди(II) (**1a**) и *bis*-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)кобальта(II) (**1b**). Метод заключается в одностадийном проведении сложноэфирной конденсации Клайзена ацетофенона и диэтилоксалата в присутствии изопропилата натрия в среде изопропанола с дальнейшим комплексобразованием при действии водных растворов хлоридов меди(II) или кобальта(II) в уксуснокислой среде, приводящим с препаративным выходом к образованию дикетонатов (**1a**), (**1b**). Детали строения полученных комплексов в соответствии с ранее установленными структурными особенностями координационных соединений с ядрами платины(II), (IV), хрома(III) и кобальта(III) [1] будут обсуждаться в отдельной работе.



R = Alk, OAlk, Ar; Alk = Me, Et; Met(II) = Cu, Co, Ni, Ca, Ba, Zn, Cd



**Рисунок 1. Общая схема получения бис(1-оксо-2,4-алкандionato)металлов(II)  $\text{L}_2\text{Met}$  (1). Новый одnoreакторный синтез бис-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)меди(II) (1a) и бис-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)кобальта(II) (1б)**

**Общая методика получения бис-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)меди(II) (1а) и бис-(1-изопропокси-1-оксо-4-фенил-2,4-бутандионато)кобальта(II) (1б).**

Смесь 5,8 мл (50 ммоль) ацетофенона и 6,8 мл (50 ммоль) диэтилоксалата добавляют при интенсивном перемешивании к взвеси изопропилата натрия, полученной растворением 1,15 г (50 ммоль) натрия в 15 мл изопропанола, при температуре 50—60 °С. Смесь охлаждают, добавляют при перемешивании 1 мл уксусной кислоты и растворы 50 ммоль (избыток) хлорида меди(II) или кобальта(II) в 30—50 мл воды. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают водой и этанолом, перекристаллизовывают из изопропанола или смеси диметилсульфоксид — вода (1 : 1). Получают целевые дикетонаты (1а) или (1б).

**Список литературы:**

1. Казакова А.Н., Козьминых В.О. Особенности строения координационных соединений с ядрами платины(II), (IV), хрома(III) и кобальта(III) // Инновационный потенциал молодёжной науки. Материалы Всероссийской науч. конф. Уфа, 8 ноября 2013 г. Уфа: Изд-во Башкирского гос. педагогического ун-та, — 2013. — Т. X. — С. 126—129.
2. Кириллова Е.А. Синтез, особенности строения и свойства три- и тетракарбонильных соединений. Автореф. дис. ... канд. хим. наук (02.00.03 — органическая химия). Ярославль: Ярославский гос. технический ун-т, 2010. — 22 с.
3. 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, — 2013. — Вып. 10 (159). — С. 139—141.
4. Кириллова Е.А., Козьминых В.О., Козьминых Е.Н. Синтез и особенности строения бис(1-оксо-4-фенил-1-этокси-2,4-бутандионато)металлов(II) // Башкирский химический журнал. — 2010. — Т. 17. — № 3. — С. 72—75.
5. Кириллова Е.А., Макаров А.Г., Гамбург Т.В., Козьминых В.О. Синтез металло(II)комплексов на основе ароилпируватных лигандов и определение их термодинамических параметров // Актуальные проблемы химической науки, практики и образования. Сборник статей II Международной науч.-практ. конф., посвящённой Международному году химии. Курск, 17—20 мая 2011 г. Курск: Изд-во Юго-Зап. гос. ун-та, 2011. — С. 92—95.

6. Козьминых В.О., Кириллова Е.А., Виноградов А.Н., Муковоз П.П., Щербаков 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, — 2009. — Вып. 4. — С. 135—149.
7. Козьминых В.О., Кириллова Е.А., Щербаков Ю.В., Муковоз П.П., Виноградов А.Н., Карманова О.Г., Козьминых Е.Н. Металлопроизводные р-π-электроноизбыточных поликарбонильных систем с сочленёнными α- и β-диоксофрагментами. Сообщение 1. Обзор литературы // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, — 2008. — Вып. 9 (91). — С. 185—198.



**СЕКЦИЯ 6.**  
**НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**6.1. ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ**

**ДИНАМИКА СВОЙСТВ И ДЕФОРМАЦИЙ  
ЛЕССОВЫХ ПОРОД ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
ТЕХНОГЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

***Садовенко Иван Александрович***

*д-р техн. наук, проф. кафедры гидрогеологии и инженерной геологии  
ГВУЗ “Национальный горный университет”,  
Украина, г. Днепропетровск  
E-mail: [sadovenkoi@ntu.org.ua](mailto:sadovenkoi@ntu.org.ua)*

***Деревягина Наталья Ивановна***

*мл. науч. сотр. кафедры гидрогеологии и инженерной геологии  
ГВУЗ “Национальный горный университет”,  
Украина, г. Днепропетровск  
E-mail: [natali.derev@gmail.com](mailto:natali.derev@gmail.com)*

# DYNAMICS OF PROPERTIES AND DEFORMATIONS OF LOESS SOILS UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOGENIC FILTRATION

*Ivan Sadovenko*

*dr. Sci. (Tech.), Professor of Hydrogeology and Engineering  
Geology department State HEI "National Mining University",  
Ukraine, Dnepropetrovsk*

*Nataliya Derevyagina*

*junior research fellow of Hydrogeology and Engineering  
Geology department State HEI "National Mining University",  
Ukraine, Dnepropetrovsk*

## АННОТАЦИЯ

Проведена серия испытаний лессовых пород с целью установления механизма протекания перестройки структуры породы при фильтрации, а также для представления количественного характера процесса выноса грунтового материала и его изменений в различных условиях. Оценены изменения структуры, происходящие при этом, а также установлен механизм образования эрозионных промоин в образцах. Установлены прогнозные границы перехода суффозионных процессов в эрозионные. Получены средние значения выноса частиц, а также их гранулометрический состав для Приднепровского лессового суглинки.

## ABSTRACT

Complement series of loess rocks was carried out to identify a mechanism of the rock restructuring in the process of filtration and to demonstrate qualitative nature of gravel and sludge evacuation as well as its metamorphosis under various conditions. The experiments make it possible to evaluate structure changes taking place during the process; besides, a method of erosion forming is identified. Identify prognostic boundaries for transformation of suffusion processes into erosion ones. Average values of particle removal as well as their granulometric composition for the Dnieper region loess soil have been obtained.

**Ключевые слова:** лессовые массивы; эрозионные полости; суффозия; фильтрация.

**Keywords:** loess massif; erosion cavity; suffusion; filtration.

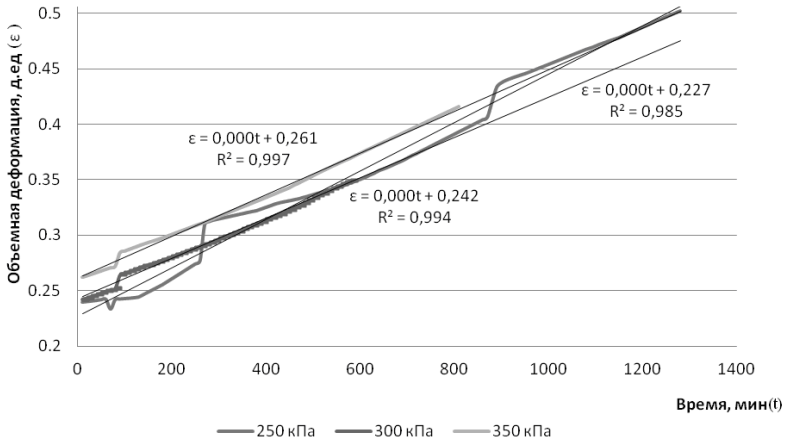
Введение. В пределах грунтовых лессовых склонов существуют природные предпосылки для развития негативных инженерно-

геологических процессов, однако активизация их развития, концентрация, частота и масштабы определяются действием факторов техногенного происхождения. Поскольку наиболее динамичным фактором, который способен активизировать развитие оползневых процессов, является нарушение гидродинамического режима территории, то целью данной работы является выявление зоны формирования критических источников развития механической суффозии, как одного из факторов развития и активизации оползневых процессов.

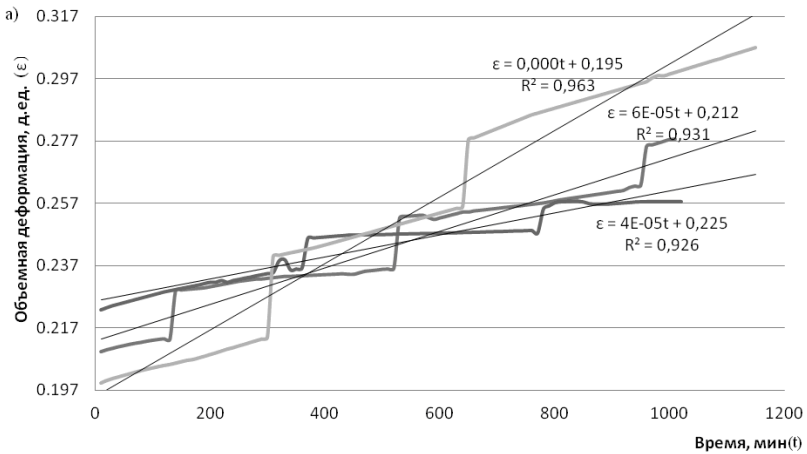
Основные результаты. В работе [1] были оценены изменения, происходящие в лессах при их насыщении и фильтрации техногенного грунтового потока. По результатам экспериментов в приборе трехосного сжатия была установлена инверсия фильтрационной анизотропии лессов в сравнении с ее природным положением. При радиальной нагрузке  $\sigma_3 = 300$  кПа наблюдалась суффозия, переходящая в эрозионный размыв с предваряющей фазой формирования гидравлически инертных полостей. В связи с этим была проведена серия испытаний лессовых пород для детализации механизма протекания перестройки структуры породы при фильтрации, а также количественного описания характера выноса грунтового материала и его изменения в различных условиях.

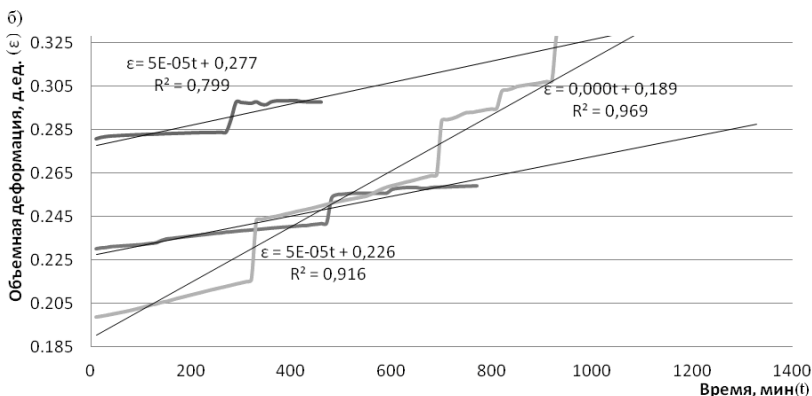
Аналогично [1] в процессе испытаний оценивалось воздействие на грунт фильтрационного потока в направлении сверху вниз и параллельно поверхностям наслоений. Образцы лессовых пород четвертичного возраста балок Тоннельная и Тополиная (г. Днепропетровск) подвергались режиму трехосного сжатия. Для того, чтобы уточнить нагрузку, при которой появляются эрозионные промоины, геостатическое давление задавалось в диапазоне 250—300—350 кПа. Гидравлический градиент в образце создавался напором 20 кПа, что соответствовало реальным условиям грунтового массива. Эксперимент прерывался при установлении затухающего характера объемных изменений в образце и затухании выноса материала или возникновении эрозионного размыва [2].

Первая серия испытаний отвечала условиям фильтрации по схеме сверху-вниз. На рис. 1 приведены результаты лабораторных испытаний, которые показывают изменение объемной деформации во времени. Статистическая достоверность оценивается значениями  $R^2=0,98\dots 0,99$ .



**Рисунок 1. Результаты испытаний лессовых пород четвертичного возраста при направлении фильтрации сверху-вниз: 250, 300, 350 кПа — радиальные нагрузки**





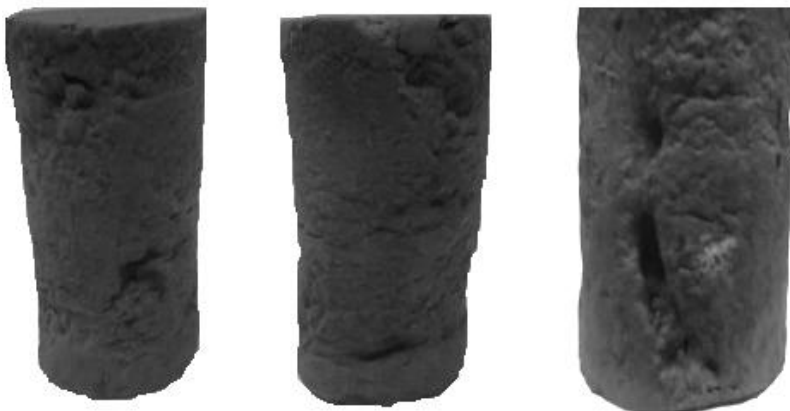
**Рисунок 2. Результаты испытаний лессовых пород четвертичного возраста при фильтрации параллельно напластованию со значением геостатического давления 250 кПа (а), 300 кПа (б)**

Отмечена суффозия с небольшим процентом вынесенных частиц и наибольшей активностью в первые часы после начала фильтрации (4—5 часов). По значениям объемной деформации видно, что определенные импульсы выноса материала пришлись на период до 2 часов с затуханием в течение 12 часов. При последующем визуальном обследовании испытанных образцов нарушений, каверн, пустот, а также видимых зон разрыхления обнаружено не было.

Существенно отличаются результаты, полученные при схеме испытания параллельно напластованию (рис. 2 а, б). Статистическая достоверность оценивается значениями  $R^2=0,92\dots0,96$ .

Зафиксировано количество выходящих частиц во время опыта и проведен гранулометрический анализ (по Сабанину) как исходного, так и вынесенного породного материала. Видимые изменения образцов показаны на рис. 3.

Наиболее интенсивный вынос частиц (72 % от общей массы вынесенного материала) происходил в период от 2,5 до 6,0 часов от начала фильтрации. В большинстве случаев, на этот промежуток времени приходятся заметные изменения значений объемной деформации образца. В глинистых грунтах возникновение суффозии определяется размерами пор, причем в лессах прямыми микроскопическими исследованиями Астапова С.В. выявлены отдельные поры, диаметр которых может превышать 0,01 мм.

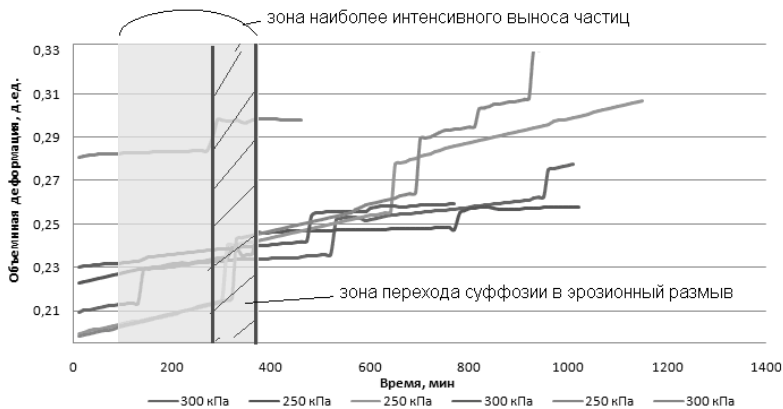


***Рисунок 3. Эрозионные нарушения в образцах лессовых пород для схемы фильтрации параллельно напластованию***

По гранулометрическому соотношению выходящих частиц, а также их периодичности и изменениям объемных деформаций можно сделать вывод, что в исследованных лессовых породах имеет место отрыв агрегатов грунта, а не отдельных частиц. Это становится возможным за счет образования микротрещин (начиная с раскрытия трещин 0,2—5,0 м), фильтрация по которым подчиняется гидравлическим закономерностям напорного движения воды [3] и, соответственно, начинается процесс размыва.

Анализ результатов изменения объемных деформаций, количественные диапазоны вынесенных частиц, а также визуальные наблюдения дали возможность выделить прогнозную зону перехода суффозии в стадию размыва и образования замкнутого канала с инертной стоковой поверхностью (рис. 4).

Выводы. Серия испытаний фильтрационных параметров пород проведенная в условиях трехосного сжатия и различных значениях нагрузок и направлениях фильтрации, показала, что при фильтрации в вертикальном направлении эрозионные процессы не формируются, а при фильтрации параллельно напластованию установлены границы перехода суффозионных процессов в эрозионные: получены средние значения выноса частиц, а также их гранулометрический состав для Приднепровского лессового суглинка (2,8% от веса образца). Проведенные испытания являются основой для прогнозирования оползней течения, возникающих при техногенном фильтрационном нагружении склонов.



**Рисунок 4. Обобщенные результаты испытаний лессовых пород при направлении фильтрации параллельно напластованию: 250, 300 кПа — диапазоны нагружения**

#### Список литературы:

1. Садовенко И.А., Деревягина Н.И. Экспериментальные исследования суффозионных и эрозийных деформаций лессовых пород // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. — 2013. — № 4 (81). — С. 126—131.
2. Садовенко И.А., Деревягина Н.И. Исследование механизма формирования эрозийных деформаций лессовых пород // Наукові праці УКРНДМІ НАН України. Випуск 13 (частина I). Донецьк. 2013. — С. 339—345.
3. Ломизе Г.М. Фильтрация в трещиноватых породах. М.: Госэнергоиздат, 1951. — 127 с.

## 6.2. ОБЩЕСТВЕННАЯ ГЕОГРАФИЯ

### ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА ПАВЛОДАР И ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ

**Жакупов Алтынбек**

*Phd докторант ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [jakupov-alt@mail.ru](mailto:jakupov-alt@mail.ru)*

**Джаналева Гульжан**

*д-р г. наук, профессор ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана*

**Берденов Жарас**

*Phd докторант ЕНУ им. Л.Н. Гумилева,  
Республика Казахстан, г. Астана  
E-mail: [berdenov.87@mail.ru](mailto:berdenov.87@mail.ru)*

### GEOGRAPHICAL ASPECTS OF PAVLODAR CITY AND REGIONAL DEVELOPMENT

**Alтынбек Zhakupov**

*PhD doctoral candidate of L.N. Gumilyov ENU,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Gulzhan Dzhanaleeva**

*of geography doctor, professor of L.N. Gumilyov ENU,  
Republic of Kazakhstan, Astana*

**Zaras Berdenov**

*PhD doctoral candidate of L.N. Gumilyov ENU,  
Republic of Kazakhstan, Astana*



## АННОТАЦИЯ

В работе, с целью определения роли социально-экономических факторов в региональном развитии города Павлодар, дается будущая модель урбанистического развития. В ходе решения поставленных задач необходимо определить географическую, литературную, картографическую, математическую, статистическую и практическую ценность региона. Полученные результаты могут быть использованы учителями школ в преподавании специального курса краеведение, в деятельности управления архитектуры, в акимате при планировании экономического развития города.

## ABSTRACT

In determining the role of socio-economic factors regional development Pavlodar, giving future model of urban development. When solving the problems set forth above to determine the geographical, literary, mapping, mathematical, statistical and practical values. The results will be use during a special local history course for school teachers, using the result of research work to continue development of the main architectural plan management, forecasting economic development of the city use the administration associated with an increase in the city.

**Ключевые слова:** рекреация; региональное развитие; районирование; туристическая форма.

**Keywords:** recreation; regional development; zoning; tourism form.

Предметом исследования является влияние географического положения на развитие производственного потенциала Павлодарской области. При написании проекта были использованы общенаучные методы обобщения, систематизации, системного анализа, синтеза, системно-структурного подхода, а также конкретно-географические методы.

**Новизна.** В работе дается характеристика влиянию географического положения на экономическое развитие Павлодарской области на современном этапе. Для этого мы применили сравнительно-географический подход. Е.Н. Перцик классифицировал крупные города по принципу региональной структуры. Согласно этой классификации, в городе Павлодар выделено историческое ядро, центральная, внешняя, пригородная зоны. Определено положение г. Павлодар в классификациях и типологиях по методике Н.Н. Баранского.

**Актуальность.** Павлодарская область, как крупный индустриальный регион Казахстана, обрела статус приграничной территории.

Экономическое развитие области предопределяется несколькими факторами, в том числе фактором экономико-географического положения.

**Гипотеза.** Географическое положение Павлодарской области является благоприятным фактором ее устойчивого экономического развития. По методике международного анализа SWOT нами был определен стратегический потенциал города Павлодар. Целью написания проекта является оценка роли геоэкономических факторов в экономическом развитии Павлодарской области. Для реализации цели были поставлены следующие задачи: рассмотреть теоретические аспекты географического положения, а в особенности — подходы к оценке экономико-географического положения; показать влияние экономико-географического положения на экономику области; дать анализ воздействия географических особенностей местности на производственное развитие и на экономическую устойчивость; рассмотреть перспективы дальнейшего развития производственного потенциала Павлодарской области в связи с экономическими факторами.

**Основная часть.** Павлодар — это крупнейший транспортный узел Северного Казахстана, включающий в себя: южно-сибирскую железнодорожную магистраль Астана-Барнаул, северную и южную автомобильную магистраль, соединяющую Омск и Семей. Наряду с этим, к западу от реки Иртыш функционирует магистраль по направлению Экибастуз-Баянаул. Имеются аэропорт, расположенный на расстоянии 6—7 км в юго-восточном направлении от города, речной порт, где организовано судоходство по реке Иртыш.

В настоящее время Павлодар является центром развития промышленности и культуры. В перспективе Павлодар, обладая промышленным и культурным потенциалом, может стать ведущим центром не только Казахстана, но и Средней Азии [3, 10].

Е.Н. Перцик классифицировал крупные города по принципу региональной структуры. На основе этой классификации, в городе Павлодар выделяется историческое ядро, центральная зона, внешняя зона, пригородная зона [1, 2, 8].

**Историческое ядро города:** это небольшая территория, где расположены особенные исторические архитектурные здания, административные, культурные и деловые центры агломерации. Исторический центр города начинается с улиц, расположенных на севере. Например, на улице Ленина расположены не только исторические, но и ценные, в плане архитектуры, здания.

**Центральная зона города:** в этой зоне расположены промышленные, складские территории, а также железнодорожный вокзал и автовокзалы.

Рассмотрим место города Павлодар в классификациях и типологиях по методике Н.Н. Баранского:

**1. Классификация городского населения по численности:** малые города до 20 тыс. человек населения, средние от 20 до 100 тыс., крупные от 100 до 500 тыс., наиболее крупные населяют свыше 500 тыс. человек населения, города-миллионеры. Согласно данной классификации, город Павлодар относится к крупным городам.

**2. Типология городов по их социально-экономическому положению:** Павлодар расположен в крупном промышленном регионе.

**3. Классификация и типология городов по их функциям:** город Павлодар — многофункциональный город, выполняет административно-политические, культурные и экономические функции.

**4. Типология города в региональном общественном разделении труда:**

*В отраслях городского хозяйства выявлены следующие отрасли:*

- развитая электроэнергетика и угольная промышленность;
- развитая черная и цветная металлургия;
- машиностроение;
- производство металла;
- переработка нефти и химическая промышленность;
- легкая и пещевая промышленность.

**5. Типология города по стратегии развития:** в будущем город Павлодар может стать центром агломерации, крупным промышленным и социально-культурным лидером в республике.

**Подходя к плану развития и роста территории города Павлодара:** рост территории города Павлодара и рост численности населения взаимосвязаны с ростом промышленности.

Работа по сохранению динамики роста экономики, улучшению благосостояния граждан будет продолжаться и развиваться в свете задач, поставленных Главой государства в Послании народу Казахстана.

Главные усилия будут направлены на модернизацию и динамичность экономики, выпуск конкурентоспособной продукции, определение новых точек роста экономики, поддержку предпринимательства, устойчивое повышение качества и социальных стандартов жизни населения.

На территории города Павлодара сложился многоотраслевой промышленный комплекс, ориентированный на использование природных ресурсов и развитие базовых отраслей промышленности.

Промышленный потенциал региона определяют крупные экспортоориентированные промышленные компании. В городе имеется достаточный потенциал для развития предприятий машиностроительной и металлообрабатывающей отраслей.

На этой основе сформирована специализация промышленности города.

#### **Промышленный потенциал**

Нефтепереработка и нефтехимия: производство дизтоплива, бензина, керосина, мазута.

Химическая промышленность: производство каустической соды, хлора.

Металлургический комплекс: производство глинозема, первичного алюминия, возможности по производству легированной стали, алюминиевого проката, металлоконструкций.

Машиностроение: приспособления и насадки к сельскохозяйственной технике, торговое оборудование, электромонтажные изделия, производство грузоподъемного оборудования, гибких кабелей, нефтегазового оборудования.

Строительные материалы: производство облицовочных плит, керамических изделий, изделий из дерева, ДСП, пиломатериалов, извести, железобетонных изделий, товарного бетона, щебня, рубероида, минеральной ваты, красок масляных, гвоздей, строительных инструментов, стальных труб, битума, изделий из металлопластика.

Пищевая промышленность: производство мяса и мясопродуктов, молока, муки, растительного масла, винно-водочных изделий.

Легкая промышленность: производство швейных изделий.

Фармацевтическая промышленность: выпуск лекарственных препаратов широкого спектра.

#### **Транспортный и коммуникационный потенциал**

Завершено реформирование на автомобильном транспорте, отрасль функционирует в конкурентной среде. Обеспечена сохранность большей части автотранспортной инфраструктуры и высококвалифицированного кадрового потенциала, сравнительно низка себестоимость перевозок при свободном ценообразовании.

Произошло увеличение доли малого бизнеса в транспортном обслуживании населения города и его сельской зоны. Пассажирами предприятиями проводится обновление автомобильного парка.

Совсем недостаточно рассматривать лишь социально-экономический фактор в развитии города, следует проводить комплексное изучение города. Главными задачами изучения экономико-географического положения города является выявление взаимосвязи социально-экономических и географических процессов, изучение особенностей расположения, природных явлений, оценка как центра развития, выявление тенденций развития территории и населения.

**Оценку социально-экономического и регионального развития города Павлодара следует начинать с очевидного тезиса:**

**Для каждого процесса и его реализации нужна одна сила, или соответствующий комплекс сил, в основном эти силы называют факторами.** Во всех случаях развития города выявляются различные факторы, влияющие на инфраструктуру города. Рассмотрим методические способы оценки социально-экономического роста города, темпы его роста, экономического развития и другие факторы.

Основным фактором развития города является ЭГП, а также его связь с другими объектами (исторически неизменяющаяся пространственная связь).

Главной задачей исследователя является рассмотрение географического положения. Посредством экономико-географического положения (ЭГП) выясняется связь между элементами общественного труда и разномасштабными территориями и фокусами, связь со скоплением населения в регионе. Это все определяет стратегию развития города. Не надо забывать о том, что ЭГП является исторической категорией, этот фактор изменяется соответственно развитию хозяйства региона.

Используя подход Н.Н. Баранского, мы применили методику бальной оценки дорог, проходящих через город, а именно: дорог республиканского значения (оценили в 2 балла), например, магистраль Омск-Майкарагай; дорог местного значения (1 балл), а именно: Караганда-Экибастуз-Павлодар; постоянно действующего международного автовокзала (1 балл), а именно Павлодарского автовокзала; железнодорожного вокзала (4 балла), 1 железнодорожного вокзала; аэропорта (3 балла) — в Павлодарском аэропорту разрешено международное сообщение; речного порта (2 балла) — 1 промышленный речной порт; речного порта (1 балл), в настоящее время часть речного порта используется для прогулочных перевозок пассажиров по реке.

При суммировании всех баллов транспортный узел оценивается в 14 баллов. Теперь сравним с Карагандой: через город проходит дорога республиканского значения (2 балла); дороги местного значения (1 балл); автовокзал международного значения (1 балл);

железнодорожные вокзалы (4 балла); аэропорт (3 балла); речные порты (0 балл); речные порты (0 балл). В итоге: 11 баллов.

Напомним, что город Караганда является в республике единственной агломерацией, включающая в себя маленькие города Абай, Шахтинск, Сарань и Темиртау, по этим городам можно прогнозировать рост города в будущем.

**Оценивание географии промышленности города** — это определение сырьевой базы топливно-энергетического комплекса, нефтяных и газовых трубопроводов.

На территории города Павлодара расположен многоотраслевой индустриальный комплекс. Промышленность г. Павлодара нацелена на экспорт. В регионе производится уголь, электрическая и тепловая энергия, окись алюминия, ферросплавы.

На долю области приходится 7 % промышленного производства, 70 % добычи угля, 3/4 выплавки ферросплавов, 40 % выработки электроэнергии и переработки нефтепродуктов от уровня республики. В области достаточно развиты химическая, машиностроительная промышленность и металлообработка.

Город Павлодар — один из главных индустриальных центров Казахстана. Здесь, кроме традиционных промышленных предприятий и добычи углеводородного сырья, развита крупная промышленность, с чем Павлодар выступает одним из крупных промышленных центров СНГ.

В Экибастузском угольном бассейне есть несколько разрезов, и самым крупным из них является разрез «Богатырь». Он знаменит не только в Казахстане, но и во всем мире.

Электроэнергетика является главной отраслью хозяйства Павлодарской области: в Павлодаре 3 тепловые электростанции (ТЭО), ГРЭС в Ақсу, 2 ГРЭС в Экибастузе.

Производимая ими электроэнергия используется в республике, но большая часть по линиям электропередач экспортируется на Урал и Западную Сибирь.

Наряду с этим, через город Павлодар проходит нефтепровод Павлодар-Шымкент.

Пригородная территория города, как аграрно-географическая зона, является сельскохозяйственной продовольственной зоной.

Территория Павлодарской области веками характеризовалась как район, занимающийся кочевым животноводством и натуральным хозяйством. Для местного населения животноводство было источником жизни [5, 7, 11].

Комплексная характеристика социально-экономических результатов развития города выражается в SWOT-анализе, определяющем сильные и слабые стороны развития города, ограничения и возможности его развития.

*Таблица 1.*

**SWOT-анализ стратегического потенциала города  
с учетом реалий внешней среды**

	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
1	Выгодное географическое расположение.	Недостаточный уровень развития малого предпринимательства.
2	Развитая транспортная инфраструктура.	Недостаток квалифицированных рабочих кадров (в металлургической и строительной отраслях)
3	Наличие развитого обрабатывающего производства.	Слабое развитие информационных-аналитических и консалтинговых центров для малого предпринимательства
4	Город располагает необходимой энергетической базой.	Неблагоприятная экологическая ситуация
5	Город в своем развитии направлен на стратегию по увеличению экспортоориентированной продукции обрабатывающих производств с последующим выпуском продукции более высоких переделов.	Отсутствие производства по утилизации и глубокой переработке отходов производства и потребления.
6	Позитивные темпы роста в строительной индустрии.	Слабо развитая база строительной индустрии
7	Развитый научно-образовательный комплекс.	Отсутствие клубных учреждений в сельских населенных пунктах и наличие объектов культуры, требующих проведения капитального ремонта.
8	Высокий потенциал педагогических кадров системы образования города.	
9	Развитая социальная инфраструктура.	
10	Достаточные водные ресурсы.	
11	Высокая доля расходов бюджета на социальное обеспечение, образование способствует как развитию человеческого капитала, так и поддержке внутреннего спроса.	

12	Эффективная реализация государственной политики, направленной на консолидацию жителей города.	
<b>Возможности:</b>		<b>Угрозы:</b>
1	Возможность кластерного развития в городе.	Вытеснение с рынка продукции местного производства за счет ввоза ее из приграничных территорий
2	Создание Специальной Экономической зоны (СЭЗ).	Снижение конкурентоспособности отдельных секторов экономики после вступления Казахстана в ВТО
3	Перспективы создания новых производств более высоких переделов в отраслях обрабатывающей промышленности.	Декларативный характер и слабая поддержка малого предпринимательства, наличие барьеров разрешительной системы
4	Улучшение экологической ситуации в регионе	Возможный отток квалифицированных кадров в Астану, Алматы, ближнее и дальнее зарубежье
5	Высокие стандарты высшего образования, способствующие развитию более высокотехнологичных видов деятельности	Снижение безопасности дорожного движения по причине высокого износа дорожного полотна.
6	Транзитный потенциал	Возможное увеличение аварий на объектах тепло-, водо-, электроснабжения.
7	Инвестиционный и инновационный потенциал	Ухудшение экологической обстановки
8	Развитие производства высококачественной пищевой продукции	Снижение инвестиционной привлекательности в результате снижения инвестиционного потенциала города.
9	Развитие малого и среднего бизнеса	
10	Рост денежных доходов населения.	

Таким образом, формирование города Павлодара видится в качестве опорного города, интегрированного в региональные и мировые рынки, через приоритетное развитие перспективных индустриально-инновационных экономических районов, генерирующих развитие новых кластеров.

«Точками роста» города станут:

- создание промышленно-производственной специальной экономической зоны;



- создание кластера цветной металлургии.

С целью реализации кластерной инициативы предусматривается создание на территории, прилегающей к АО «Казахстанский электролизный завод», специальной экономической зоны, общей площадью 1300 га. На территории СЭЗ предполагается создать промышленные площадки, состоящие из новых производств по изготовлению продукции на основе алюминия и алюминиевых сплавов, которые с учетом строящегося электролизного завода завершат формирование крупного металлургического комплекса, включающего добычу боксита, получение глинозема, первичного алюминия и изделий на основе алюминия.

Наиболее перспективным является кластер «Металлургия-Алюминий», конкурентоспособность которого обусловлена следующими факторами: наличием больших запасов сырьевых месторождений на территории Казахстана; наличием крупнейшего в СНГ завода по производству глинозема — АО «Алюминий Казахстана»; недорогими, свободными энергетическими мощностями; достаточным количеством трудовых ресурсов; возможностью реализации новых объемов продукции на внешнем (в первую очередь) и внутреннем рынках.

Кумулятивный эффект запуска кластера — формирование в перспективе четвертого и пятого металлургических переделов. Перспектива развития кластера обусловлена возможностью освоения выпуска изделий из литейных сплавов алюминия и обработки алюминия давлением — прокат, прессовка, кабельное производство, а также получение готовой высокотехнологичной продукции.

Конкурентоспособность четвертого металлургического передела высока, так как транспортные издержки первичного алюминия по территории Казахстана незначительны, что позитивно отразится и на других регионах Казахстана, имеющих машиностроительные и металлообрабатывающие предприятия.

Ключевым элементом вертикально-интегрированного металлургического алюминиевого кластера по производству металлического алюминия является АО «Казахстанский электролизный завод».

Проектная мощность завода — 250 тыс. тонн алюминиевого литья в год.

Имеет значение создание условий для устойчивого развития машиностроительного комплекса, производства строительных материалов, а также вовлечение в промышленный оборот местной сырьевой базы.

Продукция металлургического комплекса обладает высоким конкурентоспособным потенциалом на внешнем рынке. Большой спрос на данную продукцию ожидается со стороны Китая, России. Помимо наращивания производства стали, глинозема и алюминия необходимо также будет наладить и увеличить объемы производства продукции с высокой добавленной стоимостью, пользующейся спросом на мировом рынке: листы, ленты, металлоконструкции, проволока, трубы, и другая продукция.

Мощности и сырьевая база химической промышленности позволяют удовлетворить внутренние потребности, а также производить продукцию на экспорт. Дальнейшее развитие отрасли потребует осуществления модернизации производства, повышения качества продукции и активизации маркетинговой деятельности как внутри страны, так и за ее пределами [14].

Наличие сырья, тенденция к увеличению объема строительно-монтажных работ в городе — все это создает благоприятные условия для развития отечественного производства строительных материалов. Рост внутреннего спроса потребует увеличения объемов производства цемента, железобетонных изделий, кирпичей, металлоконструкций, полиэтиленовых и металлических труб, теплоизоляционных, облицовочных и отделочных материалов, сухих строительных смесей, деревянных и металлопластиковых изделий, красок. Необходимо также будет наладить производство листового стекла, кровельных материалов нового поколения, например, битумно-модифицированных и других новых материалов. Для повышения качества отечественных строительных материалов требуется модернизация производств. Основной акцент необходимо будет сделать на внедрение передовых научных разработок, используемых в мире, а также разработок отечественных ученых.

#### **Выводы:**

Павлодарская область на сегодняшний день выделяется среди всех областей Казахстана крупным промышленным центром, с развитым многоотраслевым сельским хозяйством, полностью обеспечивающим область продуктами сельского хозяйства.

Раньше Павлодарскую область разделили на 3 «экономических» района: Павлодар-Экибастуз, северная часть Иртыша, южное побережье Иртыша.

Учитывая развитую промышленность и многоотраслевую сельскохозяйственную отрасль, а также опираясь на последние экономические показатели, назрела необходимость разделить Павлодарскую область на 5 экономических районов:

- край с преобладающим земледелием;

- край со смешанным земледелием и животноводством;
- край с промышленным производством;
- край со смешанным производством и животноводством;
- край преимущественно с развитым животноводством.

В ходе исследования проведен анализ социального развития города и нынешнее экономическое положение. В результате, в региональном развитии города определена приоритетная роль социально-экономических факторов, эти факторы очевидно будут играть свою ведущую роль в будущем развитии города.

### **Список литературы:**

1. Баранский Н.Н. Избранные труды: становление советской экономической географии, 1980 г.
2. Геоурбанистика: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е.Н. Перцик. М: Издательский центр «Академия», 2009. — 432 с.
3. Демографические показатели Павлодарской области. /Статистический сборник/ 2012. — 120 с.
4. Манак Б. А. Методика экономика — географических исследований: учебник для студ. высш. учебных заведений.-Минск издательский центр «Университетское», 1985. — 160 с.
5. Основные показатели социальной отрасли Павлодарской области. /Статистический сборник, 2005—2009.
6. Павлодар. Энциклопедия. Павлодар: ТОО «Дом печати», 2008. — с. 400.
7. Павлодарская область. Итоги Национальной переписи населения Республики Казахстан 2009 года. Том I. Статистический сборник. /Астана, 2011. — 102 с.
8. Перцик Е.Н. География городов (геоурбанистика): учеб. пособие. Для геогр. спец. вузов.- высш. шк., 1991. — 319 с.
9. Промышленность Павлодарской области. /Статистический сборник/ 2012. — 78 с.
10. Свод памятников истории и культуры Республики Казахстан. Павлодарская область. — Алматы «Аруна», 2010. — 600 с.
11. Социальное развитие Павлодарской области. Департамент статистики Павлодарской области, 2011.
12. Социально-экономическое развитие Павлодарской области. Департамент статистики Павлодарской области, 2011.
13. Хронология Павлодарской области. 1938—2008 бас редактор К.А. Нурпейсов. — Павлодар «ЭКО», 2008. — 544 с.
14. 75-летие Павлодарской области. Управление статистики Павлодарской области. /Павлодар 2013.

### 6.3. ГЕОЭКОЛОГИЯ

#### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА СЕМЕЙСКОГО РЕГИОНА НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

***Абдуажитова Асель Муратовна***

*канд. хим. наук, доцент, научный сотрудник  
Научно-исследовательского института радиационной медицины  
и экологии МЗ,  
Республика Казахстан, г. Семей  
E-mail: [b\\_asel\\_m@mail.ru](mailto:b_asel_m@mail.ru)*

***Липихина Александра Викторовна***

*канд. биол. наук, начальник отдела ГНАМР  
Научно-исследовательского института радиационной медицины  
и экологии МЗ,  
Республика Казахстан, г. Семей  
E-mail: [a.v.lipikhina@mail.ru](mailto:a.v.lipikhina@mail.ru)*

***Жакупова Шолпан Болатовна***

*младший научный сотрудник Научно-исследовательского института  
радиационной медицины и экологии МЗ,  
Республика Казахстан, г. Семей  
E-mail: [zhakupova.sholpan@bk.ru](mailto:zhakupova.sholpan@bk.ru)*

# ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE SOIL COVER OF THE SEMEY REGION ON THE CONTENT OF HEAVY METALS

***Assel Muratovna Abduazhitova***

*PhD, associate professor, research associate of Research institute  
of radiation medicine and ecology of MH,  
Republic of Kazakhstan, Semey*

***Aleksandra Viktorovna Lipikhina***

*PhD, head of department of SRAMR of Research institute  
of radiation medicine and ecology of MH,  
Republic of Kazakhstan, Semey*

***Sholpan Bolatovna Zhakupova***

*junior researcher of Research institute  
of radiation medicine and ecology of MH,  
Republic of Kazakhstan, Semey*

## АННОТАЦИЯ

В данной статье описаны результаты исследований адсорбционно-десорбционных свойств каштановых почв Семейского региона по отношению к тяжелым металлам, на примере свинца. Выявлена зависимость процессов поглощения свинца почвами от физико-химических характеристик почвы и доказано, что загрязнение свинцом почв тяжелого гранулометрического состава (глинистых и суглинистых) представляет собой значительно меньшую экологическую опасность, чем загрязнение супесчаных и песчаных почв.

## ABSTRACT

This article describes the results of studies of adsorption-desorption properties of chestnut soils of Semey region with respect to heavy metals, through example of lead. Revealed the dependence of lead absorption processes by soil on physico-chemical characteristics of the soil and also proved that lead contamination of soil of heavy granulometric composition (clayey and loamy), is a much smaller ecological threat than contamination of sandy loam and sandy soils.

**Ключевые слова:** среда; загрязнение; почва; металл; последствия.

**Keywords:** environment; pollution; soil; metal; consequences.

Одним из приоритетных загрязнителей окружающей среды является свинец. Он вызывает интерес биологов и медиков в связи с его токсичностью для всего живого, несмотря на то, что он необходим растениям и животным организмам в небольших количествах.

Содержание свинца в организме человека зависит от его концентрации в почвах, растительности, водах. Изученность этого элемента в компонентах природной среды Семейского региона Восточно-Казахстанской области Республики Казахстан, имеющего сложные природные условия, очень мала.

Исследуемая территория не подвержена широкомасштабному техногенному загрязнению, однако, она расположена на границе крупных промышленных комплексов Восточно-Казахстанской области, где сосредоточены горно-металлургические, горнодобывающие, горно-перерабатывающие, энергетические, химические и другие отрасли промышленности [1]. Так, например, Усть-Каменогорский МП ОАО «Казцинк», наряду с другими тяжелыми металлами (ТМ), выбрасывает 83,3 т свинца ежегодно, Иртышский медеплавильный завод — 236,4 т свинца. Содержание свинца в атмосферном воздухе г. Усть-Каменогорска превышает среднесуточные ПДК в 22 раза [2, 3, 4, 6, 7]. Это все свидетельствует о том, что загрязняющие вещества с газообразными, жидкими и твердыми отходами от промышленных предприятий Восточного Казахстана наносят экологический ущерб и Семейскому региону. В связи с этим, знания о содержании свинца в фоновых почвах, растениях, трансформации его в системе «почва-растение», адсорбции почвами данного высокотоксичного загрязнителя Восточно-Казахстанской области весьма важны и актуальны. Эти исследования позволили оценить природную эколого-геохимическую ситуацию в регионе. Влияние свинца на организм человека так же является важным аспектом в изучении эколого-геохимической обстановки Семейского региона. Свинец поступает в организм из загрязненного воздуха, почвы, пыли в жилых помещениях и на улице, продуктов питания, а также при недостаточном соблюдении правил личной гигиены [5]. Рассмотрим результаты исследования почв на содержание в них свинца на примере Семейского региона. Физико-химические показатели исследуемых почв Семейского региона представлены в таблице 1.

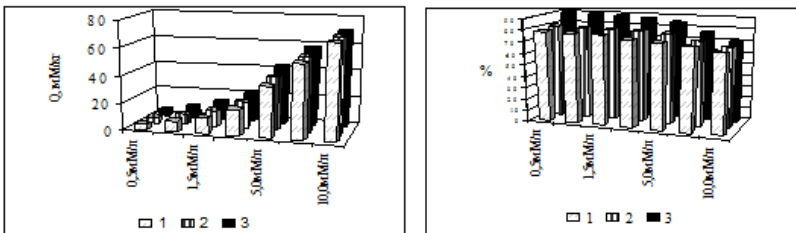
Таблица 1.

**Физико-химический состав исследуемых почв**

Почвы	pH <sub>водн</sub>	Гумус, %	Ил, %	Физическая глина, %	ЕКО, мг-экв/100г
1	7,2	0,9	10,1	15,2	9,5
2	7,0	2,5	15,3	26,1	17,8
3	6,9	2,3	19,5	28,9	20,4

Примечание: 1 — каштановые типичные выщелоченные слабогумусированные супесчаные; 2 — каштановые типичные выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые; 3 — каштановые солонцеватые выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые

Почвы являются нейтральными pH около 7; бедными гумусом, имеют в своем составе различное количество ила и физической глины. Соответствующие отличия выявлены и в емкости катионного обмена (ЕКО). Физико-химические свойства почв можно расположить в ряд по убыванию: **физическая глина > ил > ЕКО > гумус > pH<sub>водн</sub>**. Полученные результаты свидетельствуют о том, что загрязнение ТМ почв тяжелого гранулометрического состава, например, глинистых и суглинистых, представляет собой значительно меньшую экологическую опасность, чем загрязнение супесчаных и песчаных почв. В ходе исследования была выявлена зависимость процессов поглощения свинца из растворов Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> от физико-химических свойств почв (рис. 1). Количество поглощенного почвами свинца находится в прямой зависимости от концентрации исходных растворов — при увеличении концентрации на порядок количество поглощенного свинца увеличивается — в 8—9 раз. С изменением концентрации модельных растворов меняется также доля поглощенного свинца относительно внесенного количества.



**Рисунок 1. Количество свинца, поглощенного почвами из растворов Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**

При увеличении концентрации растворов нитрата свинца процент поглощенного почвами свинца постепенно снижается, хотя это снижение выражено весьма слабо — 9—18 % в зависимости от типа почвы. Установлено, что наибольшей поглотительной способностью по отношению к ионам  $Pb^{2+}$  обладают каштановые солонцеватые выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые почвы, ниже поглотительная способность каштановых типичных выщелоченных слабогумусированных среднесуглинистых почв и наименьшую поглотительную способность проявляют каштановые солонцеватые выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые почвы. Необходимо отметить, что данная зависимость сохраняется при использовании растворов всех концентраций. Результаты, полученные при изучении десорбции свинца, показали, что по десорбционной способности солевые растворы образуют следующий убывающий ряд (для всех исследованных почв):  $(NH_4)_2SO_4 > Ca(NO_3)_2 > KCl$ . Самой высокой десорбирующей способностью для каштановых почв обладает  $(NH_4)_2SO_4$ , извлекая от 1 до 4 % поглощенного свинца, самой низкой —  $KCl$ , который извлекает от 0,4 до 3 % ионов свинца.

Различия между солевыми растворами незначительные и результаты эксперимента можно озвучить так, что в составе обменных катионов в исследуемых почвах может находиться не более 3—4 % от поглощенного почвой свинца. Данные, полученные в результате десорбции, показывают, что свинец образует с почвенными соединениями чрезвычайно прочные связи и очень слабо десорбируется. Солевые растворы по десорбционной способности свинца из почв располагаются в убывающий ряд (для всех исследованных почв):  $(NH_4)_2SO_4 > Ca(NO_3)_2 > KCl$ . Результаты наших исследований позволяют нам раскрыть закономерности поведения ТМ в загрязненных почвах и использовать их в системах нормирования, при составлении прогнозной части в технико-экономическом обосновании использования хозяйственных объектов и для дозировки антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные объекты.

### Список литературы:

1. Панин М.С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана (фоновый уровень): учебник. Семипалатинск: Гос. ун-т «Семей», 1999. — 329 с.
2. Пузанов А.В. Микроэлементы в почвах Тувы//А.В. Пузанов, М.А. Мальгин // Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. Самарканд, 1990. — С. 218—220.



3. Пузанов А.В. Микроэлементная ситуация в почвенном покрове Тувинской горной области // Геохимическая экология и биогеохимическое изучение таксонов биосферы: Материалы 3-й Российской биогеохим. школы. Новосибирск, 2000. — С. 77—78.
4. Foy C.D. The physiology of metal toxicity in plants/ C.D. Foy, R.L. Chaney, M.C. White// *Ann. Rev. Plant. Physiol.* — 1978. — Vol. 29. — № 4.
5. Lanphear BP, Hornung R, Ho M, Howard CR, Eberly S, Knauf K. Environmental lead exposure during early childhood. *J Pediatr.* 2002;140:40–47.
6. Tessier A. Trace metals in Oxidic Lake Sediments: Possible adsorption into iron oxyhydroxides/A. Tessier, F. Rapin, R. Carignan// *Geochim. et cosmochim. Acta.* — 1985. — Vol. 49. — № 1. — P. 183—195.
7. Verloo M. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution / M. Verloo, A. Cottenie, G. Van Landschoot // *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband.* — 1982. — № 39. — P. 394—403.

**Научное издание**

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

Сборник статей по материалам  
XVI международной научно-практической конференции

№ 3 (15)  
Март 2014 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 15.03.14. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 14,125. Тираж 550 экз.

Издательство «СибАК»  
630075, г. Новосибирск, Залесского 5/1, оф. 605  
E-mail: mail@sibac.info

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3