



# ЕСТЕСТВЕННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

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

№ 12 (12)  
Декабрь 2013 г.

Издается с декабря 2012 года

Новосибирск  
2013

УДК 50

ББК 20

Е 86

Ответственный редактор: Гулин А.И.

Председатель редакционной коллегии:

**Козьминых Владислав Олегович** — д-р хим. наук, проф., 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 университета сервиса и экономики;

**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 XIII междунар. науч.-практ. конф. № 12 (12). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. 208 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. Вещественный, комплексный и функциональный анализ</b>	<b>8</b>
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА Пешкичев Юрий Афанасьевич	8
<b>1.2. Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление</b>	<b>14</b>
КОММУТИРУЮЩИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ ПОРЯДКОВ 4 И 6 Байчорова Фатима Хасановна	14
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛИДНОЙ ОПУХОЛИ Жукова Ирина Валерьевна Колпак Евгений Петрович	18
<b>Секция 2. Информационные технологии</b>	<b>26</b>
<b>2.1. Системный анализ, управление и обработка информации</b>	<b>26</b>
ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ Граков Вячеслав Иванович Меденец Виктор Владимирович Хабарова Диана Сергеевна	26
ИДЕНТИФИКАЦИЯ МНОГОМЕРНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАЛИЧИИ АВТОКОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ В ВЫХОДНЫХ СИГНАЛАХ Руднев Кирилл Константинович	35

<b>2.2. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами</b>	<b>40</b>
НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ Семенов Мичил Юрьевич Прокопьев Анисим Анисимович	40
<b>2.3. Теоретические основы информатики</b>	<b>46</b>
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ ДЛЯ ГУМАНИТАРИЕВ Прокопьев Анисим Анисимович	46
<b>Секция 3. Физика</b>	<b>51</b>
<b>3.1. Акустика</b>	<b>51</b>
ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ЭЛЕРОНА Бабарыкин Константин Валентинович	51
МОДЕЛЬ АСИМПТОТИЧЕСКИ ОСРЕДНЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА Филиппов Александр Иванович Ахметова Оксана Валентиновна Олефиренко Константин Викторович	59
<b>3.2. Астрометрия и небесная механика</b>	<b>68</b>
СЕМЕЙСТВО АСТЕРОИДОВ АПОФИСА (99942) Обрубов Юрий Викторович Влайков Николай Дмитриевич	68
<b>3.3. Механика деформируемого твердого тела</b>	<b>77</b>
УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ ТРУБЫ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА, НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ Никитин Андрей Витальевич	77

<b>3.4. Оптика</b>	<b>85</b>
РАСЧЕТ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОТРОПНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ОДНОРОДНОЙ БЕЗГРАНИЧНОЙ СРЕДЕ	85
Шевченко Светлана Сергеевна Костин Иван Владимирович Нилова Людмила Ивановна Андреева Наталья Владимировна	
<b>3.5. Приборы и методы экспериментальной физики</b>	<b>98</b>
ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ НА БАЗЕ МОДУЛЯ ЦАП-АЦП ZET 210	98
Костин Иван Владимирович Нилова Людмила Ивановна Шевченко Светлана Сергеевна	
<b>3.6. Радиоп физика</b>	<b>112</b>
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОВОЛНЫ, РАССЕЯННОЙ ОБЪЕКТОМ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ	112
Громов Вячеслав Александрович Орлов Павел Евгеньевич	
<b>3.7. Теоретическая физика</b>	<b>119</b>
РАССИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСОВ ПОСТУПАТЕЛЬНО ДВИГАЮЩЕЙСЯ ЖЁСТКОЙ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА	119
Войтик Виталий Викторович	
<b>3.8. Физика конденсированного состояния</b>	<b>125</b>
МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРУПОЛЬНОГО ОРИЕНТАЦИОННОГО ПОРЯДКА В ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРАХ	125
Шевченко Светлана Сергеевна Костин Иван Владимирович Нилова Людмила Ивановна	

<b>Секция 4. Биология</b>	<b>132</b>
<b>4.1. Ботаника</b>	<b>132</b>
ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ПИОНОВ Реут Антонина Анатольевна Миронова Людмила Николаевна	132
АНАТОМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТИМЬЯНА СТЕПНОГО ИЗ КАЗАХСТАНА Ишмуратова Маргарита Юлаевна Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы	137
АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ ARTEMISIA MARSCHALLIANA И A. RUPESTRIS ИЗ КАЗАХСТАНА Ишмуратова Маргарита Юлаевна Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы	142
<b>4.2. Зоология</b>	<b>150</b>
ПРЕСНОВОДНЫЕ БЕНТОСНЫЕ РАКОВИННЫЕ АМЕБЫ ОЗЕРА БОЯРСКОЕ Иманкулова Евгения Анатольевна Педуненко Елена Николаевна Лукьянцева Лидия Валентиновна	150
<b>4.3. Физиология</b>	<b>156</b>
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ГЕМОЦИТОВ HARPALUS DENEUS И SALATHUS FUSCIPES С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОРЕЛЬЕФА ИХ ПОВЕРХНОСТИ Гребцова Елена Александровна	156
<b>4.4. Экология и природопользование</b>	<b>162</b>
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОПУЛЯЦИОННЫХ РЕАКЦИЙ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ Захаров Игорь Сергеевич Величко Анна Николаевна	162

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ (INSECTA, COLEOPTERA) В НЕКОТОРЫХ ЛОКАЛЬНЫХ ФАУНАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ ОРЕНБУРГА Козьминых Владислав Олегович	169
<b>Секция 5. Химия</b>	<b>177</b>
<b>5.1. Аналитическая химия</b>	<b>177</b>
ОТРАБОТКА УСЛОВИЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕВОМИЦЕТИНА В МЯСНЫХ ПРОДУКТАХ Уланова Татьяна Сергеевна Карнажицкая Татьяна Дмитриевна Антипьева Марина Владимировна Пшеничникова Екатерина Олеговна	177
<b>5.2. Неорганическая химия</b>	<b>184</b>
ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ KCL–WO <sub>3</sub> Фаталиев Малик Бедалович Расулов Абутдин Исамутдинович	184
<b>Секция 6. Науки о Земле</b>	<b>189</b>
<b>6.1. Геоэкология</b>	<b>189</b>
СТРУКТУРА И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ) Крыжевич (Мартынова) Мария Ивановна	189
<b>6.2. Картография и геоинформатика</b>	<b>195</b>
ПОВЫШЕНИЕ НАГЛЯДНОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРЕЗЕНТАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТ Орешко Анатолий Петрович	195
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИС В ГЕОГРАФИИ Орешко Анатолий Петрович	199
ГИС УХОДЯТ В ОБЛАКА, ПРИБЛИЖАЯСЬ К ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ Орешко Анатолий Петрович	204

## СЕКЦИЯ 1.

### МАТЕМАТИКА

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

#### СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

*Пешкичев Юрий Афанасьевич*

*канд. физ.-мат. наук, исполнитель, ООО «Интеллект-Сервис»,*

*РФ, г. Бердск*

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

#### MODERN PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL ANALYSIS

*Peshkichev Yuriy Afanasievich*

*candidate of phys.-math. sciences, assystant of "Intellect-Service" LLC,*

*Russia, Berdsk*

#### АННОТАЦИЯ

Излагается авторское видение современных проблем развития математического анализа в Сибирском регионе.

#### ABSTRACT

The paper deals with the author vision on modern problems of development of mathematical analysis in Siberian region.

**Ключевые слова:** отображения соболевских классов; комплексный анализ; матричное дифференциальное исчисление; кривизна математического скалярного поля.



**Keywords:** mappings of Sobolev classes; complex analysis; matrix differential calculus; curvature of mathematical scalar field.

Примером определяющей роли математического анализа в приложениях математики, включая общественную жизнь, служит деятельность Лаборатории медленных процессов в ВолГУ, организованной В.М. Миклюковым. Теперь, после его кончины, она является своеобразным памятником воспитаннику томской математической школы. С деятельностью названной лаборатории сравнима деятельность Новосибирского отделения ПАНИ, возглавляемого математиком академиком ПАНИ А.В. Сычёвым. Поскольку оба учёных заметно отметились в квазиконформном анализе, автор начинает обзор состояния и перспектив близких ему разделов именно с этого направления.

### Квазиконформный анализ

Ещё в советское время учёные Института математики СО АН СССР, развивая квазиконформный анализ, основательно освоились в многомерном арифметическом пространстве  $R^n$ . Его развитие в российский период вообще сравнимо с выходом человека в космос. По примеру своих западных коллег учёные школы академика Ю.Г. Решетняка вышли из уже освоенного пространства  $R^n$  в пространство метрическое. На это указывают работы С.К. Водопьянова и его учеников. Более того, само направление теперь носит название геометрический анализ на метрических структурах. Его услугами вполне может пользоваться Лаборатория геометрической теории управления ИМ СО РАН, так что направление обеспечило себе достойные приложения. Необходимые результаты по метрической геометрии поверхностей разрабатывают А.П. Копылов, В.А. Александров и М.В. Коробков. На это направление ориентируются и другие сибирские математики. Топологическую архитектуру границ открытых множеств в  $R^n$  исследует сургутский математик А.П. Кармазин. Тюменский математик Т.Г. Латфуллин изучает квазиизометрии.

Пытаясь сотрудничать с этим направлением, автор ещё в советское время развил понятие многомерного градиента, в результате чего основополагающее неравенство  $q$ -квазиконформности отображения  $f(x)=[f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)]$  приняло вид

$$\left(\sum_k \|\text{grad}_{n-1} F_k(x)\|^2\right)^{n/2} \leq (n^{1/2} q)^n |\text{grad} f(x)|^{n-1},$$

где  $F_k(x)$  — вектор размерности  $n-1$ , полученный из вектора  $f(x)$  выбрасыванием координатной функции  $f_k(x)$ ,  $k=1, 2, \dots, n$ . В российский период автор установил связь квазиконформного анализа с теорией

устойчивости систем линейных алгебраических уравнений из монографии С.К. Годунова [1]. Развивая понятие кривизны скалярного поля, автор вышел на его приложения в квазиконформном анализе через второй дифференциал. Автор переориентировал также квазиконформный анализ с отображений на векторные поля [7].

### **Пространственные отображения соболевских классов**

Это направление является преемником школы Лаврентьева-Белинского в Институте математики СО АН СССР. В настоящее время его возглавляют А.В. Сычѳв и В.В. Асеев. Его сибирская география включает города Омск, Томск, Тюмень. Направление использует интегрально-геометрический метод (устаревшее название — метод модулей). Этот метод позволяет изучать отображения, квазиконформные в среднем, отображения с ограниченным в среднем искажением, отображения с ограниченным потенциалом градиента. Во времена сотрудничества с этим направлением автор установил, что для соболевских гомеоморфизмов квазиконформность в среднем и ограниченность интеграла Дирихле являются взаимно-обратными понятиями. В анизотропном соболевском классе отображений решил обратную задачу дифференцирования для автоморфизма  $n$ -мерного куба. На взгляд автора, ещё не исчерпаны возможности интегрально-геометрического метода. Например, с его помощью автор дал новое толкование непрерывности по Гѳльдеру пространственного гомеоморфизма и вышел на понятие непрерывности по Кудрявцеву [5].

### **Комплексный анализ**

Ещё в советское время мечтой томских математиков школы П.П. Куфарева было решение проблемы Бибербаха. Первым из математиков эту мечту реализовал франко-американский математик Луи де Бранж. Затем его успех повторил И.А. Александров. В российский период томские математики воссоздали полную картину выхода отечественных и зарубежных математиков к намеченной цели. Для автора сияющей высотой комплексного анализа был выход на понятие послешварцевой производной

$$f''''/f - 9(f''/f)^3 - 8f'''f''/(f')^2.$$

Как и производная Шварца, она нашла применение в дифференциальной геометрии плоских кривых [6]. У томских математиков есть своя богатая история исследования кривизны линий уровня, о чём свидетельствует недавняя статья С.А. Копанева [2]. Автор предлагает перейти к рассмотрению второй кривизны линий уровня по примеру статьи [7].

## Матричное дифференциальное исчисление

Названное направление уже нашло эффективное применение в статистике и эконометрике [3]. Основой его развития в Сибирском регионе служит книга академика С.К. Годунова [1]. Полученные на её основе результаты могут найти применение в вычислительной математике и в теории погрешностей векторных полей, которые в настоящее время основаны на конечно-разностных методах линейной алгебры, но не на полноценном матричном дифференциальном исчислении. Автор уже получил некоторые первоначальные результаты в матричном дифференциальном исчислении. Например, конечно-разностное неравенство для обусловленности определителя  $\det A(x)$  [1, с.150] приняло вид

$$|\text{grad } \det A(x)| / |\det A(x)| \leq n \text{ cond} A(x) \|\ln \text{grad} A(x)\|.$$

## Кривизна математического скалярного поля

Вначале это понятие для гладкого скалярного поля  $u(M)$  в открытой области  $G$  пространства  $R^n$  рассматривалось только как качественное понятие. Оно не упоминается в советской пятитомной математической энциклопедии. Количественно же оно проявлялось через среднюю кривизну

$$H = - \text{div} \tau / n, \quad \tau = \text{grad} u / |\text{grad} u|$$

уровенной поверхности  $\sigma(r) = \{u(x) = r = \text{const}\}$ . Касательный якобиан отображения Гаусса  $\tau : \sigma(r) \rightarrow \{|x|=1\}$  представляет собой полную кривизну  $k$  уровенной поверхности. Так как  $|k| < \text{const} (\|\text{hesu}\| / |\text{grad} u|)^{n-1}$ , где  $\text{hesu}$  — матрица Гессе скалярного поля  $u(x)$ , то естественно назвать скаляр

$\|\text{hesu}\| / |\text{grad} u|$  аналитической кривизной скалярного поля  $u(x)$ . Если использовать введённое автором [7] понятие матричного ротора, то  $\text{rot}(\text{grad} u)$  — нулевая матрица. В отличие от дивергенции, матричный ротор  $\text{rot} \tau$  характеризует кривизну не самой уровенной поверхности, а всего скалярного поля. Так, в случае скалярного поля функции расстояния до замкнутого выпуклого множества модуль его градиента тождественно равен единице во внешности этого множества, и поэтому  $\text{rot} \tau = 0$ . При этом виртуальное движение уровенной поверхности при увеличении параметра аналогично поступательному движению твёрдого тела в теоретической механике. Значит, при  $\text{rot} \tau \neq 0$  упомянутое виртуальное движение является

аналогом винтового движения твёрдого тела, т. е. включает и вращательное движение. Рассмотрим интеграл кривизны

$$J(u, G) = \iiint |k|^{n/(n-1)} dG.$$

Дополним пространство  $R^n$  до пространства  $R^{n+1}$  с помощью координаты  $r$ . Гауссово изображение  $N(\sigma(r))$  рассмотрим на  $(n-1)$ -сфере  $\{|x|=1, r=\text{const}\}$  в пространстве  $R^n$ . Объединение  $N(\Sigma)$  всех таких  $N(\sigma(r))$  назовём гауссовым изображением семейства  $\Sigma$  уровенных поверхностей. Оно представляет собой область на цилиндре  $|x|=1$  в пространстве  $R^{n+1}$   $n$ -мерного объёма

$$\text{mes}N(\Sigma) = \int \text{mes}_{n-1}N(\sigma(r))dr.$$

Если для гладкого скалярного поля  $u(x)$  с регулярным векторным полем  $\tau(x)$

конечны интеграл кривизны и многократный интеграл  $D(u, G) = \iiint |\text{gradu}|^n dG$ , то выполняется неравенство

$$J(u, G)^{n-1} D(u, G) \geq (\text{mes}N(\Sigma))^n.$$

Доказательство основано на использовании неравенства

$$\iint |k| d\sigma(r) \geq \text{mes}_{n-1}N(\sigma(r)).$$

Нужно провести его интегрирование по параметру  $r$ , использовать теорему Фубини и применить для многократного интеграла неравенство Гёльдера с показателем  $p = n/(n-1)$ .

Если  $u(x)$  — экстремальная функция в определении конформной ёмкости, то установленное неравенство даёт её оценку снизу. Так получается выход на теорию квазиконформных отображений. Если же  $u(x)$  — одна из координатных функций  $q$  — квазиконформного гомеоморфизма  $f: G \rightarrow R^n$  с конечным объёмом  $|f(G)|$ , то  $(\text{mes}N(\Sigma))^n / J(u, G)^{n-1} \leq |f(G)|$ .

Так проявляется принципиальная возможность оценивания через дилатацию квазиконформного отображения числовых характеристик, связанных с рассмотрением второго дифференциала.

### **Список литературы:**

1. Годунов С.К. Современные аспекты линейной алгебры. Новосибирск: Научная книга, 1997. — 389 с.
2. Копанев С.А. Заметка о кривизне линии уровня относительно конформного отображения // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. — 2013. — № 3. — С. 34—36.
3. Магнус Я.Р., Нейдеккер Х. Матричное дифференциальное исчисление с приложениями к статистике и эконометрике. Пер. с англ. / Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Физматлит, 2002. — 496 с.
4. Пешкичев Ю.А. Анизотропные соболевские классы в теории отображений // Сибирский математический журнал. — 1993. — Т. 34. — № 1. — С. 121—124.
5. Пешкичев Ю.А. Непрерывность по Кудрявцеву квазиконформных отображений // Известия вузов. Математика. — 2001. — № 9(472). — С. 48—50.
6. Пешкичев Ю.А. Геометрические аспекты введения понятия послешварцевой производной в комплексном анализе // Новый университет. Серия «Вопросы естественных наук». — 2011. — № 2. — С. 6—9.
7. Пешкичев Ю.А. Прикладные аспекты теории математического матричного поля // Теоретические и практические аспекты естественных и математических наук. Материалы международной заочной научно-практической конференции. Новосибирск: СибАК, 2012. — С. 7—11.

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

### КОММУТИРУЮЩИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ ПОРЯДКОВ 4 И 6

*Байчорова Фатима Хасановна*  
*ассистент КЧГУ им. У.Д. Алиева,*  
*РФ, г. Карачаевск*  
*E-mail: [Fatima-kchgu@yandex.ru](mailto:Fatima-kchgu@yandex.ru)*

### COMMUTING DIFFERENTIAL OPERATORS OF ORDER 4 AND 6

*Baichorova Fatima Khasanovna*  
*assistant of U.D. Aliev Karachay-Cherkess State University,*  
*Russia, Karachaevsk*

#### АННОТАЦИЯ

Рассматривается модельная задача о паре коммутирующих дифференциальных операторах порядков 4 и 6, Полученные результаты применяются для обобщения известной коммутирующей пары из работы Диксмье на случай рациональных коэффициентов.

#### ABSTRACT

We consider a model problem of a pair of commuting differential operators of orders 4 and 6, The results are used to generalizations of the commuting pair of work in the event of Dixmier rational coefficients.

**Ключевые слова:** коммутирующие дифференциальные операторы; дифференциальные операторы порядков 4 и 6.

**Keywords:** commuting differential operators; differential operators of order 4 and 6.

В данной работе рассматривается задача о паре многочленов  $a(D)$  и  $b(D)$  с постоянными коэффициентами, удовлетворяющих функциональному уравнению:

$$a(D + \beta)b(D) = a(D)b(D + \alpha); \alpha, \beta \in C^N. \quad (1)$$

Здесь  $D = (D_1, D_2, \dots, D_N)$  — формальная переменная, а векторы  $\alpha$  и  $\beta$  в  $C^N$  считаются заданными. Для дифференциального оператора  $C(D)$  с частными производными  $D_j = \partial_j$  имеет место формула  $C(D)$  — многочлен)

$$C(D) \circ e^{\gamma x} = e^{\gamma x} C(D + \gamma), \gamma \in C^N. \quad (2)$$

Из этой формулы следует, что функциональное уравнение (1) эквивалентно условию коммутирования пары дифференциальных операторов с частными производными, полуинвариантных относительно группы сдвигов:

$$A = e^{\alpha x} \cdot a(D), B = e^{\beta x} \cdot b(D). \quad (3)$$

В теории коммутативных колец дифференциальных операторов с одной независимой переменной специальные операторы вида (3) могут играть роль модели (см. [4]). В одномерном случае полиномиальное уравнение (1) принимает вид:

$$a(z + \beta)b(z) = b(z + \alpha)a(z), \alpha, \beta \in C, \alpha\beta \neq 0. \quad (4)$$

Его можно переписать за счет растяжения  $z$  с коэффициентом  $\beta/n$  в следующем виде

$$a(z + n)b(z) = a(z)b(z + m), m = \mathbf{deg}P(z), n = \mathbf{deg}Q(z). \quad (5)$$

При взаимно простых  $(m, n)$  задача о коммутирующих дифференциальных операторах порядков  $m$  и  $n$  изучена довольно хорошо. В частности, в рассматриваемом случае при фиксированных небольших  $(m, n)$  и  $\gcd(m, n) = 1$  полные списки многочленов, удовлетворяющих уравнению (5) приведены в работе [4]. Характерное свойство этих многочленов заключается в том, что их корни являются целыми числами при  $a_m = 0$ . Помимо указанного нормировочного условия, в списках учитывается, что переход к сопряженным операторам не нарушает их коммутирования.

Интерес к более сложному случаю  $gcd(m, n) \neq 1$  в последнее время заметно усилился. В основном речь идет о коммутирующих дифференциальных операторах с полиномиальными коэффициентами, обобщающими известный пример Диксмье [2] (обзор соответствующей литературы можно найти в [4]).

В рассматриваемой нами модельной задаче уравнения (4) и (5) позволяют полностью решить вопрос о парах коммутирующих операторов порядков 4 и 6. Установлено в частности, что каноническую форму в этом случае могут определять операторы:

$$A = e^{4t} D^2 (D + 2)^2 = A^2, B = e^{6t} D^2 (D + 2)^2 (D + 4)^2 = A_2^3, A_2 = e^{2t} D^2.$$

Их общей собственной функцией  $A_2 \varphi = \varphi$  является, как легко видеть, функция Бесселя нулевого порядка при  $n = 0$  удовлетворяет уравнению

$$y'' + \frac{1}{x} y' = \frac{x^2 + n^2}{x^2} y, D_t = -x D_x, x = -e^{-t}. \quad (6)$$

Можно показать, что нечетные  $\alpha$  (и четные  $\alpha$ ) приводят, соответственно, к полуцелым и целым значениям  $n$ , в уравнении Бесселя (6).

**Лемма 1.** Решения полиномиального уравнения

$$P(z + n_1)Q(z) = P(z)Q(z + n_2)$$

можно перемножать.

Основным результатом работы является решение полиномиального уравнения (5) при  $m = 4, n = 6$ , которое приводит к следующему списку коммутирующих дифференциальных операторов порядков 4 и 6:

$$\begin{aligned} & e^{4t} D(D + 2)(D + \alpha)(D + \alpha + 2), e^{6t} D(D + 2)(D + 4)(D + \alpha)(D + \alpha + 2)(D + \alpha + 4), \\ & e^{4t} D(D + 2)(D + \alpha)(D + \alpha + 6), e^{6t} D(D + 2)(D + 4)(D + \alpha)(D + \alpha + 4)(D + \alpha + 8), \\ & e^{4t} D(D + 6)(D + \alpha)(D + \alpha + 6), e^{6t} D(D + 4)(D + 8)(D + \alpha)(D + \alpha + 4)(D + \alpha + 8). \end{aligned}$$



Учитывая Лемму 1, рассмотрим более подробно уравнение

$$P(z+3)Q(z) = P(z)Q(z+2) \quad (7)$$

для операторов четвертого и шестого порядков. В этом случае перестановочные многочлены имеют вид:

$$\begin{cases} P(z) = z^4 + a_1z^3 + a_2z^2 + a_3z + a_4, P(z+3) = z^4 + p_1z^3 + p_2z^2 + p_3z + p_4 \\ Q(z) = z^6 + b_1z^5 + b_2z^4 + b_3z^3 + b_4z^2 + b_5z + b_6, Q(z+2) = z^6 + \sum_{i=1}^6 q_i z^{6-i} \end{cases}$$

Приравнивая коэффициенты при соответствующих степенях  $z$ , получим систему уравнений на коэффициенты  $a_j$  многочлена  $P(z)$ . Положим  $a_1 = 2t, a_2 = c_1t + c_2, a_3 = c_3t^2 + c_4t + c_5$ . Решая систему, получим следующие многочлены

$$\begin{aligned} P(z) &= z(z-1)(z-4)(z+1), Q(z) = z^2(z-2)(z-4)(z+2)(z+1); \\ P(z) &= z(z-4)(z-1)^2, Q(z) = z^2(z-1)(z-2)(z-4)(z+1); \\ P(z) &= z(z-1)(z-3)(z-4), Q(z) \\ &= z(z-1)(z-2)(z-3)(z-4)(z+1); \\ P(z) &= z(z-1)(z-4)(z+3), Q(z) = z^2(z+4)(z-2)(z+2)(z-4); \\ P(z) &= z(z-5)(z-1)(z-4), Q(z) \\ &= z(z-1)(z-3)(z-4)(z-5)(z+1); \\ P(z) &= z(z-1)(z-7)(z-), Q(z) \\ &= z(z-5)(z-1)(z-7)(z-3)(z+1). \end{aligned}$$

И переходя к операторам получим дополнительный список коммутирующих дифференциальных операторов

### Список литературы:

1. Шабат А.Б., Эльканова З.С. О коммутирующих дифференциальных операторах// ТМФ. — 2013. — Т. 162(3). — С. 334—344.
2. Burchinal J.L., Chaundy T.W. Commutative ordinary differential operators, II, The identity  $P^n = Q^m$ // Proc. Roy. Soc. London. — 1932. - ser. A, 134 № 824. — P. 471—485.
3. Dixmier J. Sur les algebra de Weyl// Bull Soc. Math 96. 1968. — P. 209—242.
4. Mokhov O.I. Commuting ordinary differential operators of arbitrary genus and arbitrary rank with polynomial coefficients. arXiv: 1303, 4263.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛИДНОЙ ОПУХОЛИ

**Жукова Ирина Валерьевна**

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

**Колпак Евгений Петрович**

*д-р физ.-мат. наук, профессор  
Санкт-Петербургского государственного университета,  
РФ, Санкт-Петербург  
E-mail: [petrovich\\_pmpu@mail.ru](mailto:petrovich_pmpu@mail.ru)*

## MATHEMATICAL MODEL OF SOLID TUMOUR

**Irina Zhukova**

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

**Eugeniy Kolnak**

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

### АННОТАЦИЯ

Разработана математическая модель злокачественной опухоли, представляющая собой задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Проанализирована устойчивость стационарных решений, построены численные решения. Дана оценка влияния химиотерапии на рост опухоли.

### ABSTRACT

Mathematical model of cancer tumour which represents a Cauchy problem for system of ordinary differential equations was developed. Stability of stationary solutions was analyzed, numerical solutions were built. Evaluation of chemotherapy's influence on tumor growth was given.

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

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

Новообразования продолжают оставаться одним из менее изученных заболеваний всех млекопитающих, включая человека, и являются одной из основных причин их ранней смертности. В России около 15 % всех смертей среди населения приходится на долю онкологических заболеваний. По мнению специалистов, злокачественные новообразования продолжают оставаться практически неизлечимыми [6, с. 8—11]. Одним из подходов в поиске эффективного пути лечения является математическое моделирование.

Первые математические модели злокачественной опухоли представляли собой задачу Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. В моделях учитывались опухолевые, здоровые и погибшие клетки, питание, различные ингибирующие вещества, ответ иммунной системы [15—17]. Затем были предложены модели типа диффузия-адвекция-реакция, в которых опухоль рассматривалась как система с распределенными параметрами [2, 3, 12—14, 18—20].

Клетки здорового организма смертны, «запрограммированная» смерть (апоптоз) является окончанием жизненного цикл. В свою очередь, основной особенностью клеток злокачественной опухоли является отсутствие апоптоза [1, 6, 15, 17]. Поскольку опухолевые клетки не отличаются от здоровых, то иммунная система с трудом их распознает [15]. С ростом опухоли ее клетки группируются, образуя различные пространственные структуры (сфероиды, трубки, нити, диски и т. п.) [6, 15]. Внутренние клетки образовавшейся структуры начинают гибнуть в силу недостаточного питания, внешние опухолевые клетки продолжают размножаться, оттесняя от себя здоровые клетки. В процессе роста опухоли, как делящиеся клетки, так и все погибшие из организма не выносятся, образуя «солидную» опухоль [6, 8, 9, 17]. Т. е., злокачественная опухоль представляет собой независимое образование из ядра погибших клеток, окруженного слоем непрерывно делящихся клеток опухоли. В силу своей автономности к окружающим тканям, опухолевые клетки проникают в окружающие ткани, разрушая их и создавая новые точки роста.

В рассматриваемой модели опухоли учитывается три типа клеток: непрерывно делящиеся (опухолевые), нормальные (здоровые) и погибшие [14]. Предполагается, что апоптоз у делящихся клеток отсутствует. Нормальные клетки в отсутствие делящихся размножаются по логистическому закону [7]. В процессе роста делящиеся

клетки выделяют токсичные вещества, оказывающие ингибирующее влияние на нормальные клетки [6, 8, 9, 17]. Погибшие клетки оказывают ингибирующее влияние на нормальные и делящиеся. Ткань опухоли считается мало сжимаемой. Поэтому равновесные концентрация нормальных клеток в отсутствие делящихся и погибших и концентрация погибших в отсутствие делящихся и нормальных должны быть одинаковыми и ниже принимаются равными единице.

В качестве одного из методов лечения опухолей является химиотерапия [6, 8, 9, 17]. В рассматриваемой модели злокачественного образования на нормальные клетки ингибирующее влияние оказывают как делящиеся клетки, так и погибшие. Поэтому в модели учитывается «химиотерапия» постоянного воздействия только на делящиеся и погибшие клетки.

Пусть  $u_1$  — количество делящихся клеток,  $u_2$  — нормальных клеток,  $u_3$  — погибших. С учетом введенных обозначений система дифференциальных уравнений, описывающая рост «солидной» опухоли, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{du_1}{dt} &= \mu_1 u_1 - \mu_1 u_1 u_3 - \gamma_1 u_1 u_3 - f_1(t) u_1, \\ \frac{du_2}{dt} &= \mu_2 u_2 (1 - u_2) - \mu_2 u_2 u_3 - \gamma_2 u_1 u_2 - \gamma_3 u_2 u_3, \\ \frac{du_3}{dt} &= (\gamma_2 u_1 u_2 + \gamma_1 u_1 u_3 + \gamma_3 u_2 u_3) (1 - u_3) - f_3(t) u_3, \end{aligned} \quad (1)$$

В первом уравнении слагаемое  $\mu_1 u_1$  — скорость «собственного» роста делящихся клеток, слагаемое  $\gamma_1 u_1 u_3$  — скорость ингибирования погибшими клетками делящихся, слагаемое  $\mu_1 u_1 u_3$  — скорость вытеснения делящихся клеток погибшими. Слагаемое  $\mu_2 u_2 (1 - u_2)$  во втором уравнении — скорость изменения численности нормальных клеток,  $\gamma_2 u_1 u_2$  — скорость ингибирования делящимися клетками здоровых,  $\gamma_3 u_2 u_3$  — скорость ингибирования нормальных клеток погибшими,  $\mu_2 u_2 u_3$  — скорость

вытеснения нормальных клеток погибшими. Скорость роста мертвых клеток (третье уравнение в (1)) пропорциональна  $(1 - u_3)\gamma_2 u_1 u_2 + \gamma_1 u_1 u_3 + \gamma_3 u_2 u_3$ . Множитель  $1 - u_3$  отражает тот факт, что заполнение функционального пространства, занимаемого погибшими клетками, происходит тем медленнее, чем больше его наполнение.  $\mu_1, \mu_2, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$  — положительные константы, характеризующие скорости реакций. Неотрицательные функции  $f_1 = f_1(t)$  и  $f_3 = f_3(t)$  описывают поступление химических препаратов, влияющих, соответственно, на скорость роста делящихся клеток и на скорость накопления погибших. При этом предполагается, что скорость гибели делящихся клеток пропорциональна их концентрации и концентрации химических препаратов. Это же предположение относится и к скорости распада погибших клеток при действии на них химиопрепаратов.

В отсутствие делящихся и погибших клеток из уравнений (1) следует уравнение для роста нормальных клеток [5, 7]

$$\frac{du_2}{dt} = \mu_2 u_2 (1 - u_2).$$

В этой модели изменения численности нормальных клеток предполагается, что скорость их рождения равна  $\mu_2 u_2$ , а гибель происходит со скоростью  $\mu_2 u_2^2$ .

В качестве начальных условий будут рассматриваться условия при  $t = 0$ :  $u_1 = u_1^0, u_2 = 1, u_3 = 0$ , где  $u_1^0$  — малая величина. Эти начальные условия подразумевают, что в начальный момент времени в функциональном пространстве нормальных клеток (погибшие клетки отсутствуют) возникает небольшое количество делящихся клеток.

Система уравнений (1) при  $f_1(t) \equiv 0$  и  $f_2(t) \equiv 0$  имеет три стационарные точки

1.  $u_1 = 0, u_2 = 1, u_3 = 0$
2.  $u_1 = 0, u_2 = 0, u_3 = 1$

3.  $u_1 = 0, u_2 = 0, u_3$  — любое.

Третья стационарная точка имеет физический смысл только в том случае, если  $u_3 = 1$ . В первой стационарной точке матрица Якоби правой части уравнений (1) имеет собственное значение  $\lambda_1 = \mu_1$ . То есть эта стационарная точка неустойчива в линейном приближении. В малой окрестности второй стационарной точки малые возмущения решения  $\delta u_1, \delta u_2$  и  $\delta u_3$  удовлетворяют системе уравнений

$$\begin{aligned}\frac{d\delta u_1}{dt} &= -\gamma_1 \delta u_1, \\ \frac{d\delta u_2}{dt} &= -\gamma_3 \delta u_2, \\ \frac{d\delta u_3}{dt} &= -(\gamma_1 \delta u_1 + \gamma_3 \delta u_2) \delta u_3.\end{aligned}$$

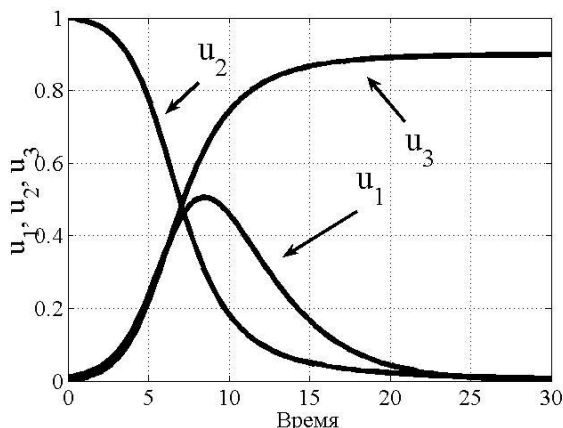
Решение этих уравнений представляется в виде

$$\begin{aligned}\delta u_1 &= \delta u_1(0)e^{-\gamma_1 t}, & \delta u_2 &= \delta u_2(0)e^{-\gamma_3 t}, \\ \delta u_3(t) &= \delta u_3(0) \exp(\delta u_1(t) + \delta u_2(t) - \delta u_1(0) - \delta u_2(0))\end{aligned}$$

Возмущения  $\delta u_1(0)$  и  $\delta u_3(0)$  должны быть положительными в силу физического смысла решения. Поскольку  $\delta u_1(t)$  и  $\delta u_2(t)$  убывающие по модулю функции, стремящиеся к 0 при  $t \rightarrow \infty$ , то  $\delta u_3(t)$  возрастающей функцией времени не будет и малым значением  $\delta u_3(0)$  будут соответствовать и малые значения  $\delta u_3(t)$  при достаточно больших значениях  $t$ . То есть это положение равновесия будет устойчивым. Таким образом, в рассматриваемой модели происходит постепенное вытеснение нормальных клеток погибшими.

Численное решение уравнений (1) осуществлялось в среде математического пакета MatLab [5] с использованием встроенных

функций. На рис. 1 показано изменение функций  $u_1 = u_1(t)$ ,  $u_2 = u_2(t)$  и  $u_3 = u_3(t)$  (численное решение уравнений (1)) во времени при  $\mu_1=0.7$ ,  $\mu_2=0.7$ ,  $\gamma_1=0.4$ ,  $\gamma_2=0.5$ ,  $\gamma_3=0.2$ . Как следует из анализа численных результатов концентрация погибших клеток непрерывно растет, концентрация делящихся клеток сначала растет, а затем начинает убывать. Концентрация нормальных клеток монотонно уменьшается.



**Рисунок 1. Динамика изменения функций  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $u_3(t)$**

При наличии химиотерапии функции  $f_1(t)$  и  $f_3(t)$  задают «программу лечения». Для случая  $f_1(t) = \beta_1 = const$  и  $f_3(t) = \beta_3 = const$  стационарные точки системы уравнений (1) находятся как положительное решение системы алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} u_1(\mu_1 - \mu_1 u_3 - \gamma_1 u_3 - \beta_1) &= 0, \\ u_2(\mu_2(1 - u_2 - u_3) - \gamma_2 u_1 - \gamma_3 u_3) &= 0, \\ (\gamma_2 u_1 u_2 + \gamma_1 u_1 u_3 + \gamma_3 u_2 u_3)(1 - u_3) - \beta_3 u_3 &= 0. \end{aligned}$$

При  $\beta_1 > \mu_1$  первое уравнение будет удовлетворено только при  $u_1 = 0$ . В этом случае при  $\beta_3 > \gamma_3$  третье уравнение будет удовлетворяться только при  $u_3 = 0$ . Т. е., при этих условиях реализуется стационарная точка  $u_1 = 0$ ,  $u_2 = 1$ ,  $u_3 = 0$ . Собственные значения матрицы Якоби в этой стационарной точке  $\lambda_1 = \mu_1 - \beta_1$ ,  $\lambda_2 = -\mu_2$ ,  $\lambda_3 = \gamma_3 - \beta_3$  будут в этом случае отрицательными и, соответственно, стационарная точка будет устойчивой. Т. о., для уничтожения делящихся клеток необходимо, чтобы скорость их уничтожения была больше скорости их роста. При этом возможно и уничтожение погибших клеток, если скорость их уничтожения препаратами будет больше скорости их накопления.

### Список литературы:

1. Акоев И.Г. Биофизика познает рак. М.: Наука, 1988. — 160 с.
2. Астанин С.А., Лобанов А.И. Трехмерная модель роста неваккуляризированной опухоли в ткани // Математика. Компьютер. Образование. — 2005. — Ч. 1. — С. 759—769.
3. Астанин С.А., Колобов А.В., Лобанов А.И., Пименова Т.П., Полежаев А.А., Соляник Г.И. Влияние пространственной гетерогенности среды на рост и инвазию опухоли. Анализ методами математического моделирования // Медицина в зеркале информации. М.: Наука, 2008. — С. 188—223.
4. Балыкина Ю.Е., Колпак Е.П. Введение в Matlab. СПб: Соло. 2013. — 302 с.
5. Балыкина Ю.Е., Колпак Е.П. Математические модели функционирования фолликула щитовидной железы // Вест. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10: Прикладная математика, информатика, процессы управления. — 2013. — Вып. 3. — С. 20—31.
6. Васильев Ю.М. Биология злокачественного роста. М.: Наука. 1965. — 180 с.
7. Горбунова Е.А., Колпак Е.П. Математические модели одиночной популяции // Вест. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10: Прикладная математика, информатика, процессы управления. — 2012. — Вып. 4. — С. 18—30.
8. Долгих В.Т. Опухолевый рост: учеб. пособие/В.Т. Долгих. Ростов н/Д.: Феникс, 2007. — 160 с.
9. Жимулев И.Ф. Общая и молекулярная генетика. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2002. — 459 с.



10. Колбин А.С., Курьлев А.А., Павлыш А.В., Проскурин М.А., Балькина Ю.Е. Научный анализ исходов в онкологии. Особенности фармакоэкономической экспертизы // Мед. техн. Оценка и выбор. — 2012. — Т. 2 (8). — С. 87—93.
11. Колбин А.С., Сидоренко С.В., Балькина Ю.Е. Исследования в области новых антибактериальных средств — есть ли перспективы? // Педиатрическая фармакология. — 2010. — Т. 7. — № 5. — С. 12—16.
12. Колобов А.В., Губернов В.В., Полежаев А.А. Автоволны в модели роста инвазивной опухоли // Биофизика. — 2009. — Т. 54. — Вып. 2. — С. 334—342.
13. 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—232.
14. Колобов А.В., Анашкина А.А., Губернов В.В., Полежаев А.А. Математическая модель роста опухоли с учетом дихотомии миграции и пролиферации // Компьютерные исследования и моделирование. — 2009. — Т. 1. — № 4. — с. 415—422.
15. Моисеенко В.М., Блинов Н.Н., Хансон К.П. Биотерапия при злокачественных новообразованиях // Российский онкологический журнал. — 1997. — № 5. — С. 7—59.
16. Слепков В.А., Суховольский В.Г., Хлебопрос З.Г. Популяционная динамика в моделировании роста раковых опухолей // Биофизика. — 2007. — Т. 52. — Вып. 4. — С. 733—740.
17. Эммануэль Н.М. Кинетика экспериментальных опухолевых процессов. М.:Наука, 1977. — 419 с.
18. Byrne H.M., Breward C.J.W., Lewis C.E. The role of cell-cell interactions in a two-phase model for avascular tumour growth // Journal of Mathematical Biology. — 2001. — Vol. 45. — № 2. — P. 125—131.
19. Chaplain M.A.J., Sherratt J.A. A new mathematical model for avascular tumor growth // Journal of Mathematical Biology. — 2000. — Vol. 43. — № 4. — P. 291—312.
20. Mohammed Shuker Mahmood, Silvia Mahmood, Dusan Dobrota // Formulation and numerical simulations of a continuum model of avascular tumor growth // Mathematical Biosciences. — 2011. — Vol. 231. — № 2. — P. 159—171.

## **СЕКЦИЯ 2.**

### **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

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

##### **ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СЕТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ**

***Граков Вячеслав Иванович***

*канд. техн. наук, доцент,  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
РФ, г. Ставрополь  
E-mail: [vgrakov@yandex.ru](mailto:vgrakov@yandex.ru)*

***Меденец Виктор Владимирович***

*студент 5 курса, Северо-Кавказский федеральный университет,  
РФ, г. Ставрополь  
E-mail: [alximik2012@mail.ru](mailto:alximik2012@mail.ru)*

***Хабарова Диана Сергеевна***

*аспирант, Северо-Кавказский федеральный университет,  
РФ, г. Ставрополь  
E-mail: [diana.dip@yandex.ru](mailto:diana.dip@yandex.ru)*

# **PROBLEM FORMALIZATION OF OPERATIONAL STATUS CONTROL OF GEOGRAPHICALLY DISTRIBUTED INFORMATION NETWORK OF AUTOMATED SYSTEM**

***Vjacheslav Grakov***

*candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
North Caucasian Federal University,  
Russia, Stavropol*

***Viktor Medenets***

*student 5th year, North Caucasian Federal University,  
Russia, Stavropol*

***Diana Khabarova***

*post Graduate Student, North Caucasian Federal University,  
Russia, Stavropol*

## **АННОТАЦИЯ**

Цикл управления состоянием информационной сети декомпозируется на контуры иерархического управления, отличающиеся длительностью цикла управления. В основе рассматривается цикл контура оперативного управления. Обоснованы операторная модель и структурная схема системы управления состоянием сети и необходимость построения алгоритмов функционирования решающих компонентов системы управления на основе методов многокритериальной оптимизации.

## **ABSTRACT**

The status control cycle of information network is decomposed into the hierarchical control contours, characterized by length of control cycle. Operational control cycle is considered the basis. Operator model and a block diagram of a network status control system are substantiated as well as the necessity of building functioning algorithms of critical control system components based on the methods of multicriteria optimization.

**Ключевые слова:** эффективность функционирования; состояние системы; система управления; цикл и контур управления; подсистемы управления; оперативное управление; оценка состояния; информационная сеть; многокритериальная оптимизация.

**Keywords:** the functioning efficiency; system status; control system; cycle and control circuit; control subsystem; operational control; status assessment; informational network; multicriteria optimization.

Повышение эффективности в общем случае любых сложных систем связывают с рядом направлений совершенствования их систем управления. Одним из них является автоматизация процессов цикла управления, позволяющая повысить оперативность за счет сокращения длительности цикла управления, снизить трудозатраты и повысить интеллектуальные возможности лица, принимающего решения (ЛПР), а также степени научной обоснованности принимаемых решений за счет учета большего числа параметров управляемой системы (процесса) и обработки их методами математического программирования и вариационного исчисления [1].

Решение проблемы повышения эффективности управления состоянием территориально-распределенной информационной сети (ИС) автоматизированной системы (АС) также основывается на автоматизации функций управления состоянием ИС, реализации сложных математических методов оптимизации, внедрения информационных и вычислительных технологий на базе высокопроизводительных микропроцессорных систем и возрастающей угрозе информационных конфликтов [3, 4].

Концептуальная модель оперативного управления состоянием ИС учитывает следующие утверждения [2, 3]. Эффективность ИС определяется степенью соответствия требованиям, предъявляемым автоматизированной системой к её целевым свойствам, характеристикам и, в конечном итоге, параметрам и показателям, определяющим требуемое или допустимое ее состояние. При этом под состоянием ИС понимается совокупность значений характеристик сети и ее компонентов в оцениваемый промежуток времени и определяющая качественную (категорированную) или количественную оценку её эффективность.

Основными функциональными компонентами цикла управления состоянием ИС АС являются контроль, учет, анализ, регулирование, оперативное управление, планирование и прогнозирование [1]. При этом цикл управления рассматривается композицией контуров стратегического управления (прогнозирование и планирование), оперативного управления и регулирования, в интересах которых исходные данные обеспечиваются процедурами формальной и содержательной обработки измеренных, собранных и накопленных значений параметров компонентами контроля, учета и первичного анализа собранных данных в каждом контуре. Далее в основу форма-

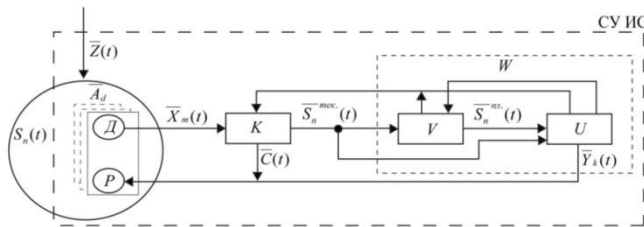
лизации цикла управления состояниями ИС положены компоненты среднего контура — контура оперативного управления состоянием сети, определяющего текущую эффективность ИС и учитывающим взаимодействие с контуром стратегического (целевого) централизованного управления эффективностью ИС и контурами локального децентрализованного управления — регулирования [1, 4].

В дальнейшем анализ выделенных контуров будет декомпозирован до контуров управления интегральными характеристиками ИС: своевременностью и достоверностью обмена данными и информационной безопасностью ИС, определяющими ее целевое предназначение [2].

На сеть влияют возмущающие факторы, представляемые динамическим вектором  $\bar{Z}(t) = [z_1(t), \dots, z_i(t), \dots, z_q(t)]$ , под действием которых состояние сети изменяется. Эти факторы представимы внешними  $BE(t)$  и внутренними  $BI(t)$  воздействиями среды, системы управления ИС, флуктуацией состояний её элементов и обслуживаемого трафика, а потому могут иметь случайный  $\psi(t)$  и детерминированный  $\xi(t)$  характер. В общем случае влияние факторов зададим в виде следующей композиции:  $Z(t) = BE(t) \cdot BI(t) \cdot \psi(t) \cdot \xi(t)$ .

Информация о текущих состояниях среды и сети влияет на вероятность перехода в будущие состояния, а система управления обеспечивает однозначность выработанных управляющих воздействий и предсказуемость реакции сети на эти воздействия.

Формализуем цикл оперативного управления состоянием ИС. Обобщенную структуру цикла контура оперативного управления состояниями информационной сети представим в виде операторной модели (рисунок 1).



**Рисунок 1. Операторная модель цикла контура оперативного управления сетью**

Состояние сети в любой момент времени  $t$  зададим  $n$ -мерным вектором, элементы которого отображают структуру сети, а также протекающие в ней процессы и могут быть векторами и матрицами. Для измерения и оценки вектора  $\overline{S}_n(t)$  доступен некоторый вектор наблюдения  $\overline{X}_m(t) = [x_1(t), \dots, x_i(t), \dots, x_m(t)]$  значений параметров сети, который в общем случае отличается от вектора  $\overline{S}_n(t)$  размерностью, т. е.  $n \neq m$ . Только в частном, наиболее благоприятном случае, размерности совпадают. Множество факторов не всегда возможно измерить и учесть, а иногда в этом нет необходимости. Размерность вектора  $\overline{X}_m(t)$  будет зависеть от допустимых затрат и функциональных возможностей подсистемы контроля СУ, представляющей совокупность распределенных датчиков  $D$  – локальных агентов управления сети  $\overline{A}_d = [A_1, A_2, \dots, A_d]$ .

Оценка текущего состояния сети  $\overline{S}_n^{mek.}(t)$  может быть получена различными статистическими методами, примененными к составляющим вектора контролируемых данных  $\overline{X}_m(t)$ .

Динамика цикла управления представляется следующим образом. Система управления состоянием сети по наблюдаемому вектору  $\overline{X}_m(t)$  получает оценку вектора текущего состояния сети  $\overline{S}_n^{mek.}(t)$ . Каждому значению вектора соответствует определенное значение вектора управляющих воздействий  $\overline{Y}_k(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_k(t)]$ . Управляющие воздействия на структуру, алгоритмы и параметры сети осуществляются регулятором  $P$  – агентов управления сети.

Оператор сбора и анализа контролируемых данных состояния  $K$  в определенном режиме собирает от датчиков  $D$  данные состояния элементов (компонентов) сети (значений параметров, статистики и т. п.). Режимы сбора могут быть следующие: сбор данных по времени (периодический); сбор по факту или событию; сбор по запросу подсистем анализа и принятия решения, диагностики или тестирования. Для обеспечения требуемой достоверности оценок оператор  $K$  вырабатывает вектор зондов (запросов) принудительного

сбора контрольной информации  $\bar{C}(t)$  для диагностирования и тестирования.

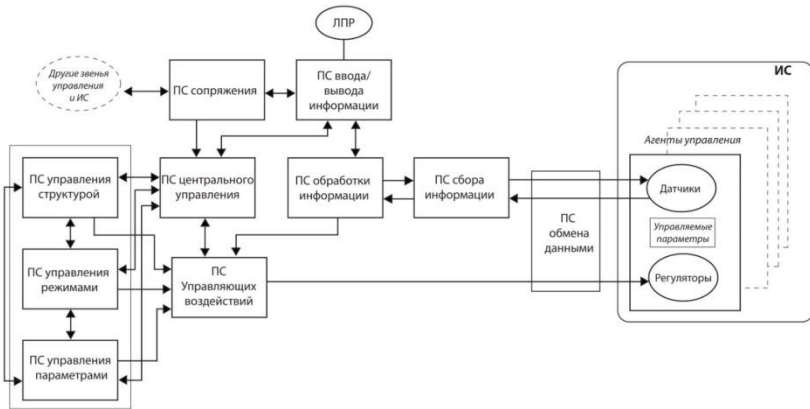
Функциональный оператор  $W$ , ставящий в соответствие каждому значению вектора  $\bar{S}_n^{mek.}(t)$  определенное значение вектора  $\bar{Y}_k(t)$ , представляет собой оператор принятия решения на управление в виде совокупности операторов планирования  $V$  и оперативного управления и регулирования  $U$ .

Оператор планирования  $V$  каждому значению вектора  $\bar{S}_n^{mek.}(t)$  ставит в соответствие определенное значение вектора  $\bar{S}_n^{nl.}(t)$ , который отражает планируемое состояние сети  $\bar{S}_n^{mek.}(t)$ , может не совпадать с требуемым состоянием сети на промежуточных циклах контура оперативного управления.

Оператор оперативного управления и регулирования  $U$  сравнивает планируемое состояние  $\bar{S}_n^{nl.}(t)$  с текущим состоянием  $\bar{S}_n^{mek.}(t)$  и вырабатывает вектор управляющих воздействий  $\bar{Y}_k(t) = U \{ \bar{S}_n^{nl.}(t) - \bar{S}_n^{mek.}(t) \}$ .

При этом оператор принятия решения на управления  $W$  включает следующие частные операторы: принятия решений на управление структурой (установлением соединений  $W_c = (V_c, U_c)$ ), управления алгоритмами (режимами)  $W_a = (V_a, U_a)$  и управления параметрами  $W_p = (V_p, U_p)$ , т. е.  $W = (W_c, W_a, W_p)$ .

Разработанная операторная модель контура оперативного управления состоянием ИС обосновывает структуру системы оперативного управления состоянием ИС в виде совокупности взаимосвязанных функциональных подсистем, показанных на рисунке 2. Зададим функциональную определенность каждой подсистеме системы управления (СУ) [2].



**Рисунок 2. Обобщенная схема функциональных подсистем СУ ИС**

Подсистема ввода-вывода информации обеспечивает интерфейс ЛПР при управлении состоянием сети и взаимосвязи с другими уровнями и звеньями управления и ИС.

Подсистема сопряжения обеспечивает взаимодействие звеньев управления и связь с другими сетями и системами.

Подсистема сбора информации распределена по компонентам и элементам сети, обеспечивает измерение, сбор, статистическую обработку, и систематизацию данных о значениях параметров.

Подсистема обработки информации выполняет вторичную содержательную обработку информации, поступающей из подсистемы сбора информации и других подсистем, сортирует и хранит в памяти обработанную информацию, а также выдает ее по запросам других подсистем или сигналам подсистемы центрального управления.

Подсистема управления параметрами предназначена для обоснования и выбора значений характеристик производительности и пропускных способностей структурных компонентов ИС при накладываемых требованиях достоверности безопасности информационного обмена. Подсистема управления режимами работы сети и её компонентов (алгоритмами функционирования сети) оптимизирует управление распределением стохастических потоков информации по наиболее целесообразному плану распределения потоков с учетом оптимальности физической структуры и требований по достоверности и безопасности обмена.

Подсистема управления структурой предназначена для образования физических путей передачи информации и управления



оптимизацией пропускной способности сети в соответствие со структурой входящего трафика.

Взаимный обмен информацией управления между всеми подсистемами обеспечивает подсистема обмена.

Подсистема управляющих воздействий обеспечивает интерпретацию управляющих команд от подсистем контроля, обработки, управления структурой алгоритмов и параметрами, определяет корректность, приоритетность и последовательность ввода на передачу управляющих воздействий в адрес агентов управления.

Подсистема центрального управления обеспечивает согласованное функционирование всех подсистем, поддерживает взаимодействие с ЛПП и контролирует работу системы управления.

К особенностям взаимосвязи подсистем необходимо отнести следующие условия. Подсистема сбора информации после первичной и преимущественно стохастической обработки передает подсистеме обработки информации значения, отражающие оценку контролируемых параметров элементов сети и процессов в элементах и между смежными элементами.

Наиболее важной функциональной подсистемой является подсистема обработки информации, в которой полученные данные обрабатываются с целью получения оценки состояния сети и качества обслуживания абонентов в ней, например, в виде матриц состояния, элементы которых характеризуют узел, канал, качество обслуживания по выбранным параметрам управления. Более того, в этой подсистеме предусматривается система критериев (логических триггеров), во-первых, оценивающая текущее, требуемое, прогнозное состояния, состояние ресурсов, и, во-вторых иницилирующая работу соответствующих подсистем СУ ИС.

При такой комплексности частных задач определяющим является выбор критерия эффективности ещё на этапе планирования сети. Тогда обобщенный показатель эффективности представляет собой совокупность частных показателей, отражающих существенные для оперативного управления свойства сети.

К сфере поиска наилучшего и обязательно компромиссного решения, удовлетворяющего нескольким не сводимым друг к другу критериям, относится многокритериальная оптимизация [3]. Необходимо заметить, что и методология решения сложных проблем, предлагаемая общей теорией систем, трактует требования к подбору противоречивых характеристик при системном анализе и оптимизации сложных систем [1]. Таковыми частными критериями в данном случае являются рассматриваемые своевременность, достоверность и безопас-

ность информационного обмена в ИС. При постановке многокритериальной задачи в качестве критерия часто рассматривается обобщенная функция, полученная скаляризацией вектора частных показателей, при допустимой степени субъективности. Многокритериальность усложняет процесс принятия решений и требует применения специальных методов, которые на данный момент не так хорошо разработаны, как методы однокритериальной (скалярной) оптимизации. Более того, результат многокритериальной оптимизации позволяет анализировать системообразующую структуру оценки состояния и тем самым детализировать до оценок параметров, вызвавших снижение оценки частного показателя, что создает предпосылки для развития подсистем диагностики, повышения точности принятия решения об оперативном управлении и регулировании, что, несомненно, способствует повышению эффективности управления в целом.

Таким образом, учитывая фундаментальный принцип кибернетики — принцип необходимого разнообразия Эшби — эффективность управления состоянием ИС, зависит от качества принимаемых решений о состоянии сети и принимаемых решений об управлении компонентами и элементами ИС. Обоснованные операторная модель и функциональная схема СУ ИС, реализующая методы многокритериальной оптимизации на этапах оценивания состояния сети и выработки решений об управлении состоянием сети определяет систему обозначенных научных задач, решение которых повысит интеллектуальные возможности ЛПР по управлению состоянием сети и эффективность функционирования ИС в целом.

### **Список литературы:**

1. Анфилатов В.С.В и др. Системный анализ в управлении: Учебное пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин: под ред. А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2002. — 386 с: ил.
2. Граков В.И. Задача синтеза систем в конфликтных условиях как минимаксная задача / Компьютерные науки и технологии. Ч. 1: сборник трудов Первой Международной НТК. Белгород: ГиК, 2009. — С. 23—28.
3. Граков В.И. Меденец В.В. Динамическая модель системы связи защищенной автоматизированной системы с управляемыми структурами/ Граков В.И. Меденец В.В., Песков М.В. // Материалы II Международной НПК «Актуальные проблемы современной науки», Т. 3. Ставрополь: ИИЦ «Фабула», 2013. — С. 58—63.
4. Доктрина информационной безопасности.
5. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005 — С. 39—142.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ МНОГОМЕРНОЙ  
НЕЛИНЕЙНОЙ СТАЦИОНАРНОЙ  
ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАЛИЧИИ  
АВТОКОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ  
В ВЫХОДНЫХ СИГНАЛАХ**

*Руднев Кирилл Константинович*

*аспирант,  
Самарский государственный университет путей сообщения,  
РФ, г. Самара  
E-mail: [KiRudnev@gmail.com](mailto:KiRudnev@gmail.com)*

**IDENTIFICATION OF MULTI-DIMENSIONAL  
NON-LINEAR STATIONARY DYNAMIC SYSTEM  
IN THE PRESENCE OF AUTOCORRELATED  
NOISES IN OUTPUT SIGNALS**

*Rudnev Kirill Konstantinovich*

*candidate, Samara State Transport University,  
Russia, Samara city*

**АННОТАЦИЯ**

В статье предложен численный метод оценивания параметров нелинейных динамических систем, описываемых разностными уравнениями при наличии помех наблюдения в выходных сигналах.

**ABSTRACT**

There is numerical method of estimation of parameters of multi-dimensional non-linear dynamic system, classified difference equations in the presences inquiry interference in output signals.

**Ключевые слова:** идентификация; нелинейная динамическая система; состоятельная оценка.

**Keywords:** identification; non-linear dynamic system; consistent estimate.

Для решения многих задач на железнодорожном транспорте, например, таких как прогнозирование расхода электроэнергии, контроль функционального состояния машинистов, прогнозирование геометрических параметров рельсовой колеи, прогнозирование

расхода топлива и т. д., применяются модели на основе разностных уравнений. Многие из этих задач нелинейные, в связи с чем возникает задача построения математических моделей на основе нелинейных разностных уравнений.

Рассмотрим многомерную стационарную нелинейную динамическую систему с дискретным временем ( $i = \dots -1, 0, 1 \dots$ ), описываемую следующим уравнением:

$$Z_{i+1} = G_1^{(0)} Z_i + G_1^{(1)} Z_{i-1} + \dots + G_1^{(r)} Z_{i-r} + G_2^{(0)} \eta_0(x_i) + G_2^{(1)} \eta_1(x_{i-1}) + \dots + G_2^{(r_1)} \eta_{r_1}(x_{i-r_1}), \quad (1)$$

$$\text{где } \eta_0(x_i) = \begin{pmatrix} \eta_0^{(1)}(x_i^{(1)}) \\ \vdots \\ \eta_0^{(m)}(x_i^{(m)}) \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \eta_{r_1}^{(1)}(x_{i-r_1}^{(1)}) \\ \vdots \\ \eta_{r_1}^{(m)}(x_{i-r_1}^{(m)}) \end{pmatrix} = \eta_{(r_1)}(x_{i-r_1}), Y_i = Z_i + \Xi(i),$$

где:  $Y_i, Z_i$  — наблюдаемые и ненаблюдаемые векторы выходных сигналов,

$(Z_i, Y_i \in R^n), X_i$  — наблюдаемые векторы входных сигналов ( $x_i \in R^m$ ).

Идентификация объекта сводится к процедуре определения матриц неизвестных параметров  $G_1^{(1)}; \dots G_2^{(r_1)}$  по  $\{Y_i, X_i\}$  при известных порядках  $r$  и  $r_1$  и является задачей параметрического оценивания.

В общем случае, последовательность  $\{\Xi(i)\}$  не является последовательностью независимых случайных векторов, поэтому представляет интерес случай аддитивных локальных автокоррелированных шумов в качестве наблюдений.

Пусть выполняются следующие условия:

1<sup>0</sup>. Множество, которому априорно принадлежат истинные значения параметров устойчивой нелинейной многомерной системы, является компактом.

2<sup>0</sup>.  $\eta_k(x_{i-k}), k = \overline{0, r_1}$  не зависят от  $\{\Xi(i)\}$ .

3<sup>0</sup>. Случайные последовательности  $\{\Xi(i)\}$  удовлетворяют условиям:

$$\begin{aligned} E(\Xi(i)/F_{i-1}) &= 0 \text{ п.н.}; \\ E(\Xi(0)\Xi^T(0)) &= D > 0 \\ N^{-1} \sum_{i=i_0}^N E(i) E^T(i+p) &\xrightarrow[\text{п.н.}]{i \rightarrow \infty} h_{\Xi}(p) < \infty, p = \overline{0, n} \end{aligned}$$

$$F_{i-1} = \{(\mathcal{E}(i-1), \dots, \mathcal{E}(0))\};$$

$$E(\mathcal{E}(i)\mathcal{E}^T(i)/F_{i-1}) \leq W,$$

где:  $W$  — случайная матрица,

$h_{\mathcal{E}}$  — матрица локальных автокоррелированных функций;  
 $E(W) \leq \pi$

4<sup>0</sup>. Вектор входных сигналов  $X_i$  и векторы  $\eta_0(x_i), \dots, \eta_{r_1}(x_{i-r_1})$  и истинные параметры удовлетворяют условию:

$$N^{-1} \begin{vmatrix} Z_i \\ \text{---} \\ \vdots \\ \text{---} \\ Z_{i-r} \\ \text{---} \\ \eta_0(x_i) \\ \text{---} \\ \vdots \\ \text{---} \\ \eta_{r_1}(x_{i-r_1}) \end{vmatrix} \left| Z_i^T : \dots Z_{i-r}^T : \eta_0^T(x_i) : \dots \eta_{r_1}^T(x_{i-r_1}) \right| \xrightarrow{i \rightarrow \infty} H = \text{ddd} =$$

$$\begin{vmatrix} H_{zz} & H_{z\eta} \\ \text{---} & \text{---} \\ H_{\eta z}^T & H_{\eta\eta} \end{vmatrix},$$

где:  $H$  — положительно определенная матрица.

5<sup>0</sup>. Пусть  $\mathcal{E}_r = (\mathcal{E}^T(i+1)\mathcal{E}^T(i), \dots, \mathcal{E}^T(i-r))^T \in R_{n(r+2) \times 1}$ ,

$$N^{-1} \sum_{i=i_0}^N \mathcal{E}_r \mathcal{E}_r^T \xrightarrow{i \rightarrow \infty} \begin{vmatrix} D \{ h_{\mathcal{E}} \\ \text{---} \\ h_{\mathcal{E}}^T \} H_{\mathcal{E}} \end{vmatrix},$$

где  $h_{\mathcal{E}}$ : имеет размерность  $n \times n(r+1)$ ;

$H_{\mathcal{E}}$ :  $n(r+1) \times n(r+1)$ , где  $H_{\mathcal{E}}$  — положительно определенные матрицы, элементы которых  $n(r+1)$  являются значениями локальной автокоррелированной функции в различные моменты времени.

Уравнение (1) можно записать в виде:

$$Y_{i+1} - \mathcal{E}(i+1) = G_1^{(0)}(Y_i - \mathcal{E}(i)) + \dots + G_1^{(r)}(Y_{i-r} - \mathcal{E}(i-r)) +$$

$$+ G_2^{(0)}\eta_0(x_i) + \dots + G_2^{(r_1)}\eta_{r_1}(x_{i-r_1}) \quad \text{или} \quad (2)$$

$$Y_{i+1} = G_1^{(0)} Y_i + \dots + G_1^{(r)} Y_{i-r} + G_2^{(0)} \eta_0(x_i) + \dots + G_2^{(r_1)} \eta_{r_1}(x_{i-r_1}) + \varepsilon(i+1) - G_1^{(0)} \varepsilon(i) - \dots - G_1^{(r)} \varepsilon(i-r)$$

Представляем уравнение (2) в виде системы уравнений (2) ( $j = \overline{1, n}$ ):

$$y_{i+1}^{(j)} = b_{j\bullet}^{(0)} Y_i + \dots + b_{j\bullet}^{(r)} Y_{i-r} + a_{j\bullet}^{(0)} \eta_0(x_i) + \dots + a_{j\bullet}^{(r_1)} \eta_{r_1}(x_{i-r_1}) + \xi^{(j)}(i+1) - b_{j\bullet}^{(0)} \varepsilon(i) - \dots - b_{j\bullet}^{(r)} \varepsilon(i-r) \quad (3)$$

где  $b_{j\bullet}^{(0)}$  –  $j$  строка матриц  $G_1^{(0)}$ ;  $a_{j\bullet}^{(r_1)}$  –  $j$  строка матриц  $G_2^{(r_1)}$ ;

Уравнение (3) запишем следующим образом:

$$y_{i+1}^{(j)} = \left| \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} : \bar{a}_{j\bullet}^{(0)} \right| \begin{vmatrix} Y_r(i) \\ - \\ - \\ - \\ \bar{\eta}^{(r_1)}(i) \end{vmatrix} + \xi^{(j)}(i+1) - \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \varepsilon_r; \\ \text{где } \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} = |b_{j\bullet}^{(0)} : \dots : b_{j\bullet}^{(r)}|, \bar{a}_{j\bullet}^{(0)} = |a_{j\bullet}^{(0)} : \dots : a_{j\bullet}^{(r)}|, \\ Y_r(i) = |Y_i^T : \dots : Y_{i-r}^T|^T, \bar{\eta}^{(r_1)} = |\eta_0^T(x_i) : \dots : \eta_{r_1}^T(x_{i-r_1})|^T;$$

Введем следующую обобщенную ошибку для  $j$ -уравнения:

$$e^{(j)}(\bar{b}_{j\bullet}, \bar{a}_{j\bullet}, i) = \xi^{(j)}(i+1) - \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \varepsilon_r(i);$$

Из условий 3<sup>0</sup> и 5<sup>0</sup> следует, что обобщенная ошибка имеет нулевое среднее, а ее локальная дисперсия с вероятностью 1 равно:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N \left( e^{(j)}(\bar{b}_{j\bullet}^{(0)}, \bar{a}_{j\bullet}^{(0)}, i) \right)^2 = \\ = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \xi^{(j)}(i+1) - \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \varepsilon_r(i) \right)^2 = \\ = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \left( \xi^{(j)}(i+1) \right)^2 + \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \varepsilon_r(i) \varepsilon_r^T(i) \bar{b}_{j\bullet}^{(0)T} - - \right. \\ \left. - 2\xi^{(j)}(i+1) \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \varepsilon_r(i) \right) \\ = \sigma_j^2 + \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} H_{\varepsilon} \bar{b}_{j\bullet}^{(0)T} - 2h_{\varepsilon j} \bar{b}_{j\bullet}^{(0)T} = \omega(\bar{b}_{j\bullet}^{(0)}) \text{ п. н.}$$

Определим оценки  $|\hat{\bar{b}}_j : \hat{\bar{a}}_j|$  неизвестных истинных значений параметров  $|\bar{b}_j^{(0)} : \bar{a}_j^{(0)}|$  из условия минимума суммы взвешенных квадратичных отклонений  $e^{(j)}(\bar{b}_j, \bar{a}_j, i)$  с весом  $\omega(\bar{b}_j)$ :

$$\min_{|\bar{b}_j : \bar{a}_j|} \frac{\sum_{i=1}^N \left( y_{i+1}^{(j)} - |\bar{b}_j : \bar{a}_j| \left| \frac{y_r(i)}{\bar{\eta}^{(r1)}(i)} \right| \right)^2}{\sigma_j^2 + \bar{b}_j H \Xi \bar{b}_j^T - 2h \Xi_j \bar{b}_j^T} \quad (4)$$

Справедливо следующее утверждение:

Пусть стационарная нелинейная динамическая система с нулевыми начальными условиями описывается уравнением (1) и помехи удовлетворяют условиям  $2^0, 3^0, 5^0$ . Кроме того, истинные значения параметров  $|\bar{b}_j^{(0)} : \bar{a}_j^{(0)}|$  и входные сигналы удовлетворяют условиям  $1^0, 4^0$ . Тогда оценка  $|\hat{\bar{b}}_j : \hat{\bar{a}}_j|$  определяемая выражением (4) при  $N \rightarrow \infty$  существует и является сильно состоятельной оценкой, т. е.  $|\hat{\bar{b}}_j : \hat{\bar{a}}_j| \xrightarrow[N \rightarrow \infty]{\text{п.н.}} |\bar{b}_j^{(0)} : \bar{a}_j^{(0)}|$ .

На основе данной статьи было создано прикладное программное обеспечение, которое позволит получать состоятельные оценки моделей и прогноза потребления энергоресурсов на железной дороге.

### Список литературы:

1. Кацюба О.А., Жданов А.И. Идентификация по методу наименьших квадратов параметров уравнений авторегрессии при аддитивных ошибках измерений // Автоматика и телемеханика. — 1982. — № 2. — с. 29—38.
2. Кацюба О.А., Жданов А.И. Особенности применения МНК для оценивания линейных разностных операторов в задачах идентификации объектов управления // Автоматика и телемеханика. — 1979. — № 8. — с. 86—95.
3. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Физматлит, 2010.

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

### **НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВЕ**

***Семенов Мичил Юрьевич***

*студент 2 курса группы Зем-12 ИФ,  
РФ, Якутск*

***Прокопьев Анисим Анисимович***

*ст. преп. ФГБОУ ВПО «Якутская ГСХА»,  
РФ, Якутск*

*E-mail: [praa58@yandex.ru](mailto:praa58@yandex.ru)*

### **NEW INFORMATION TECHNOLOGIES IN LAND**

***Semenov Michil Yurievich***

*2nd year student group Earth 12 IF,  
Russia, Yakutsk*

***Prokopiev Anisim Anisimovich***

*Art. Ven. VPO "Yakut SAA",  
Russia, Yakutsk*

#### **АННОТАЦИЯ**

Рассматриваются основы ведения земельного кадастра плано-картографическими материалами с помощью цифровых фотограмметрических станций обработки материалов аэро- и космической съемки. Примеры использования космических снимков при ведении кадастрового учёта.

#### **ABSTRACT**

Overs the basics of land cadastre campaign cartographic materials using digital photogrammetric stations materials processing of aerial



and satellite imagery. Examples of the use of satellite imagery in the management of cadastral registration.

**Ключевые слова:** земельный кадастр; фотограмметрист; фото-триангуляция; проективная фотограмметрия; космические снимки.

**Keywords:** land registry photogrammeter; phototriangulation projective photogrammetry; satellite imagery.

Основой ведения земельного кадастра является планово-картографический материал. Перевод картографического фонда в цифровую форму процесс достаточно дорогой и продолжительный в котором происходят значительные изменения, которые требуют корректировки.

Обновление планово-картографического материала традиционно ведется централизованно на основе аэро- или наземных съемок, выполняемых силами специализированных организаций. Недостатки такого подхода в современных условиях очевидны: обновление выполняется периодически, причем период зависит не столько от динамики изменений на местности, сколько от возможностей финансирования и способности топографических предприятий освоить возрастающие объемы работ; в то же время динамика изменений кадастровой информации возросла многократно. Процесс распределения и перераспределения земельных участков становится непрерывным и поэтому к методике и технологии обновления и корректировки планового материала предъявляются новые требования: проблема несоответствия плановых материалов; проблема формирования и учета земельных участков; проблема учета качества земель, необходимость мониторинга.

Использование информационно-коммуникационных технологий в аграрном секторе области приобретает все более широкий характер и становится одним из важных факторов экономического развития. Одновременно возрастают требования и к уровню профессиональной подготовки специалистов. Для них владение современными компьютерными технологиями в агробизнесе становится обязательным.

Земельный кадастр является одним из наиболее перспективных направлений с точки зрения окупаемости затрат. Целью земельно-кадастровых мероприятий является защита прав землепользователей и организация цивилизованного рынка недвижимости на основе экономической оценки земли, а также извлечение прибыли в виде систематически собираемого земельного налога.

Создание информационной основы земельного кадастра возможно при автоматизации сбора, хранения, обновления информации и оформления земельно-учетных документов. Земельно-кадастровая информация подразделяется на семантическую, представленную в виде многочисленных таблиц, и графическую, в виде цифровых кадастровых карт.

Важным вопросом в современных условиях является вооружение исполнителей высокоэффективными технологиями выполнения работ. Наиболее экономичными являются дистанционные методы обследования территорий, основанные на использовании материалов аэро- и космической съемки.

С появлением цифровых фотограмметрических станций обработка материалов аэро- и космической съемки традиционно считающаяся уделом профессиональных фотограмметристов, становится доступной для широкого круга не специализированных организаций. Однако процесс аэросъемки остается централизованным, выполняемым специальными отрядами гражданской авиации с соблюдением всех бюрократических и режимных условий. Создание системы оперативной аэросъемки при этом проблематично. Прогресс в области цифровой фотографии и видеосъемки, в авиамodelьном спорте, развитие малой авиации и появление сверхлегких летательных аппаратов — позволяет усовершенствовать систему локальной оперативной аэросъемки в целях мониторинга земель даже в условиях централизации работ.

В СибРКЦ «Земля» с 1994 года разрабатывается методика и технология локального мониторинга земель на основе оперативной аэросъемки с использованием доступных цифровых съемочных систем, малой авиации и радиоуправляемых моделей самолетов и вертолетов. Разработана теория выполнения фотограмметрических измерений, фототриангуляции и создания цифровых ортофотопланов на основе материалов аэровидео и цифровой фотосъемки. Особенность способов обработки фотограмметрических измерений заключается в том, что фототриангуляционные сети и ортофотопланы строятся по законам проективной фотограмметрии без использования элементов внутреннего ориентирования. Одним из наиболее сложных теоретических вопросов при такой обработке измерений остается вопрос калибровки снимков. Технические проблемы заключаются в отсутствии методики и конструктивных разработок по обеспечению аэросъемки.

На рынке космической видеоинформации огромное количество продукции самого разнообразного качества и, соответственно, стоимости, начиная от снимков низкого разрешения, которые характеризуются размером пикселя на местности порядка 100—150 метров, и заканчивая

снимками радиолокационного диапазона, разрешающая способность которых достигает 25 см. Весь этот диапазон доступен сейчас для пользователя.

Наши интересы начинаются от снимков, разрешающая способность которых составляет приблизительно 10—15 метров. Современные космические снимки это, как правило, цифровые многозональные снимки. Весь видимый диапазон разбит на элементарные фрагменты. В данном диапазоне разрешающей способности основными источниками информации являются снимки космических аппаратов Landsat (американский), «Астер» (американский) и Spot (французский). Они обладают разрешающей способностью до 15 метров. Один снимок покрывает территорию приблизительно 180 на 180 километров (~3,5 га), это примерно ¼ Омской области. Снимки имеют хорошие стоимостные показатели, один снимок стоит 1200 \$, в пересчёте на квадратный километр съёмки — 4 цента.

Дешифрирование позволяет выделить различные элементы местности на момент съёмки. Основное назначение дешифрирования с точки зрения экологии — это возможность выявления различных загрязнений окружающей среды. Многозональные снимки обладают способностью комбинации цветов, окрашенные в различные цветовые палитры, позволяют получить цветные синтезированные фотографии для того, чтобы хорошо распознать характер растительности. По цветовому контрасту можно отличить древесную растительность от кустарниковой и т. д.

Опытный дешифровщик, не зная местность, может определить, где присутствуют продукты переработки нефти, загрязнение хлором, угнетённая растительность, радиация, и следовательно найти самые благополучные места для жизни. Несмотря на 15-ти метровое разрешение этих снимков, можно получить очень интересную информацию. Обработка цветного снимка, который удовлетворяет нас по изобразительным свойствам, заключается в приведении этого изображения в систему координат. В основе используются существующие карты и планы: выбираются опорные точки с планового материала для нанесения опоры; производится идентификация с точками на растровом изображении.

С использованием специального математического аппарата, заложенного в программном комплексе Roscad, выполняется преобразование: растровое изображение карты совмещается с растровым изображением снимка. Ограничений для систем координат практически никаких нет. В результате получается совмещённое изображение

двух растров. Технология предусматривает обработку нескольких снимков.

При сравнении космического снимка и плана горного отвода месторождения (масштаб 1:25000) можно увидеть:

- белая полоса — это фактическое положение нефтепромысловой дороги;
- чёрная полоса — это её положение на карте.

Таким образом, мы обнаруживаем ошибку положения нефтепромысловой дороги на картографическом материале. Такого рода ошибки карт очень хорошо просматриваются по космическим снимкам, способным охватить всю территорию месторождения, всю зону ответственности нефтяной или газовой компании, или всего региона.

Возникает интересный момент в связи со снятием части ограничений, которые неизбежны при работе с системами координат. Существует проблема, связанная с использованием системы координат 1942 года (6-ти градусная зона) или 1963 года (3-х градусная зона), а также проблемы связанные с секретностью этих данных.

Достоинства использования таких космических снимков: снимки не секретные; ориентирование данных снимков может быть выполнено в любой системе координат (даже географической) или WGS84, которые не являются секретными; огромный охват снятой территории позволяет вести различные работы, в частности, по инвентаризации трансконтинентальных объектов, таких как магистральные нефтепроводы, дороги.

По оценкам экспертов геометрические свойства снимков, полученных с аппарата Landsat 7, обеспечивают геометрическую точность масштаба плана 1:25000, с учётом того, что мы ориентировались по опорным точкам карты, которые по точности не являются опорными, и поэтому не соответствуют наземным опознавательным знакам. Существовавшие карты одного горного и другого горного отвода и никто не анализировал их совместно. До сих пор работа по космическим снимкам носила больше исследовательский характер, но теперь она нашла и практическое применение. Таким образом использование космических снимков — это одно из перспективных направлений в настоящее время.

Успешным можно считать опыт использования фрагмента одного из космических снимков Омской области. При сравнении космического снимка и планового материала Одесского района также были обнаружены ошибки карты, и появилась возможность совмещения карт различных масштабов. Из приведенных примеров видно, что при использовании космических снимков исчезает много проблем,

с которыми постоянно сталкиваются землеустроители при ведении кадастрового учёта.

### **Список литературы:**

1. Раклов В.П. Состояние и перспективы применения ГЛОНАСС в АПК. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель № 2 // 2013. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://panor.ru/journals/kadastr/new/index.php?ELEMENT\\_ID=71726](http://panor.ru/journals/kadastr/new/index.php?ELEMENT_ID=71726).
2. Сафонов Р.А. Обработка кадастровой информации методом комплексного множественного регрессионного анализа. Землеустройство, кадастр и мониторинг земель № 2 // 2013. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http://panor.ru/journals/kadastr/new/index.php?ELEMENT\\_ID=71726](http://panor.ru/journals/kadastr/new/index.php?ELEMENT_ID=71726).
3. Земельное право России. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://bibliotekar.ru/zemelnoe-pravo-1/48.htm>.
4. Осинцев В.Э. / автореф. Канд.дис. 2007, 25.00.26. Разработка автоматизированной системы ведения земельного кадастра ROSCAD. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.referun.com/n/razrabotka-avtomatizirovannoy-sistemy-vedeniya-zemelnogo-kadastra-roscad>.

## 2.3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

### МЕЖДИСЦИПЛИНАРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ КОМПЕТЕНТНОСТЬ ДЛЯ ГУМАНИТАРИЕВ

*Прокопьев Анисим Анисимович*  
*ст. преп. ФГБОУ ВПО «Якутская ГСХА»,*  
*РФ, Якутск*

### INTERDISCIPLINARY INFORMATION FOR THE HUMANITIES MATHEMATICAL COMPETENCE

*Prokopiev Anisim Anisimovich*  
*Art. Ven. VPO "Yakut SAA",*  
*Russia, Yakutsk*

#### АННОТАЦИЯ

В статье обоснована необходимость пересмотра ключевых понятий как «математическая компетентность», «информационная компетентность» для гуманитариев и введения нового базового понятия «междисциплинарное информационно-математическая компетентность».

#### ABSTRACT

The paper substantiates the need to review the key concepts as "mathematical competence", "information competence" for the humanities and the introduction of a new basic concept of "interdisciplinary information and mathematical competence."

**Ключевые слова:** математика; информационная технология; новый интеллект; междисциплинарная информационно-математическая компетентность.

**Keywords:** mathematics; information technology; new intelligence; information and interdisciplinary mathematical competence.

В настоящее время в различных областях знаний завоевал большое признание метод математического моделирования. В его основе лежит приближенное описание какого-либо класса процессов и явлений символами математики и логики. Поэтому математика все в большей степени становится необходимым атрибутом любой науки. При этом на рынке интеллектуального труда требуются высококвалифицированные конкурентоспособные специалисты, что достигается за счет высокого уровня естественнонаучного образования, составной частью которой являются математика и информационные технологии.

Одним из факторов, обеспечивающих решение данной задачи, является внедрение информационно-коммуникационных технологий в общество и сферу образования. Использование человеком возможностей глобальной телекоммуникационной сети создает условия удовлетворения информационных потребностей граждан при получении образования на всех уровнях и ступенях [1].

На наш взгляд, современное юридическое образование должно быть направлено не просто на повышение уровня образованности будущего специалиста, а на формирование нового типа интеллекта, иного образа и способа мышления, приспособленного к весьма быстро меняющимся экономическим, технологическим, социальным и информационным реалиям окружающего мира; нового информационного мировоззрения, основанного на понимании определяющей роли математизации и информатизации процессов в профессиональной деятельности.

Обычно формирование информационной и математической компетентности у студентов-гуманитариев осуществляется в процессе обучения дисциплин «Информатика» и «Математика». На наш взгляд, этот процесс не может осуществляться изолированно, только в рамках узкопредметной области, а должна быть непрерывной и реализоваться через содержание образования на уровне междисциплинарных компетенций.

Возникает необходимость интеграции предметов специальной подготовки и естественнонаучных дисциплин на основе междисциплинарного подхода. Эта проблема актуальна в особенности для высшего юридического образования, что связано с выраженным интегративно-междисциплинарным характером профессиональной юридической деятельности, обусловленной формированием новых областей знаний на стыке математики, информатики и юриспруденции. При этом введение системы непрерывной информационно-математической подготовки в вузе должно обеспечить оптимизацию

учебно-образовательного процесса за счет перехода на более высокий уровень его информационно-коммуникационной обеспеченности учебного заведения; подготовку высококвалифицированных специалистов из числа профессорско-преподавательского состава, обладающих академической мобильностью на базе использования сетевых математических и информационных технологий; подготовки будущих специалистов к быстрой адаптации современной профессиональной ситуации и диверсификацию образовательных документов.

Слабой стороной всех имеющихся на сегодняшний день определений математического и информационного компетенций является то, что они ограничиваются рамками того или иного раздела знания, изучающего компетентность, а следовательно применимы лишь к узкому, специальному аспекту знания: либо информационному либо математическому и притом применимыми к техническим специальностям.

В отношении предлагаемой авторами концепции сущности междисциплинарной информационно-математической компетентности информационная компетентность и математическая компетентность одинаково значимы, взаимообусловлены и имеют общую направленность. Введение в научный оборот понятия «междисциплинарная информационно-математическая компетентность» несет новое содержание, облегчает изложение и объяснение вновь выявленных связей, позволяющих обеспечить повышение качества образования в процессе профессиональной подготовки специалистов.

Содержание междисциплинарной информационно-математической компетентности мы рассматриваем как сложное интегративное образование, включающее синтез компонентов, которые представляют собой совокупность фундаментальных знаний по многим разделам математики, информатики и информационных технологий, умений и навыков по математическому моделированию в области профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий на основе междисциплинарной интеграции учебных дисциплин, направленной на преодоление их недостаточной взаимосвязанности, фрагментарности знаний и обеспечивающей фундаментальную готовность к выполнению практической деятельности, связанной с информационно-математическими технологическими процессами в свете современных требований модернизации российского образования.

Необходимость введения в научный оборот понятия «междисциплинарная информационно-математическая компетентность» объясняется еще и тем, что в современных условиях быстро-



сменяющихся поколений программных и аппаратных средств, появления новых математических и информационных технологий, изменения и уточнения их содержания требует единого термина, объясняющего (показывающего) общий процесс независимо от его содержания. Выявление сущности и структуры междисциплинарной информационно-математической компетентности дало нам возможность сконструировать модель её формирования у студентов-юристов в процессе их профессиональной подготовки в области математики, информатики и информационных технологий.

В модели нами выделены основные компоненты междисциплинарной информационно-математической компетентности будущих юристов в процессе вузовского образования:

- Ценностно-мотивационный компонент включает мотивы, цели, потребности изучения математики, информатики и информационных технологий как основу овладения математическими и информационными технологиями для формирования междисциплинарной информационно-математической компетентности как части профессиональной компетентности юриста.

- Когнитивный компонент кроме теоретических знаний по предмету, умений и навыков оперирования с информацией и информационными объектами включает в себя владение технологиями, компьютерными коммуникациями, использование прикладных математических технологий в профессиональной деятельности, знаний межпредметных связей предметов общетеоретической подготовки.

- Деятельностный компонент представляет собой активное применение математических и информационных технологий в нормотворческой, правоприменительной, правоохранительной, экспертно-консультативной деятельности в профессиональной сфере.

Совокупность всех компонентов образует целостную систему, направленную на формирование междисциплинарной информационно-математической компетентности будущего юриста, что является неотъемлемой и важной составной частью профессиональной компетентности будущего юриста, и как следствие, готовности студентов к будущей профессиональной деятельности [2—5].

Таким образом, анализ современного состояния отечественного образования, в частности юридического, и перспектив его развития позволяют сделать вывод о том, что одним из путей повышения эффективности образовательного процесса является формирование междисциплинарной информационно-математической компетентности у студентов-гуманитариев.

### **Список литературы:**

1. Турутина Е.Э. Формирование информационной компетенции у будущих сотрудников уголовно-исполнительной системы. Дис. канд. пед. наук / Е.Э. Турутина. Казань., 2008. — 215 с.
2. Иванова А.В., Прокопьев А.А. Теоретическая модель формирования междисциплинарной математической и информационной компетентности студентов юридического вуза. «Право и образование, № 9 сентябрь, 2012, Москва. Изд-во СГУ (Совр. гуманитарный университет).» — Стр. 14—21.
3. Иванова А.В., Прокопьев А.А. Контекстное обучение в информационно-образовательной среде вуза для формирования междисциплинарной информационно-математической компетентности. Сб. науч. трудов SWorld. Матер. междуна. н.-практ. конф. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2012». Выпуск 3. Том 13. Одесса: КУПРИЕНКО, 2012, — С. 51—56.
4. Иванова А.В., Прокопьев А.А. Междисциплинарная информационно-математическая компетентность как фактор повышения качества профессиональной подготовки юристов. Вестник СВФУ им. М.К. Аммосова, — №3, — 2013, — С. 111—116.
5. Прокопьев А.А. Роль формирования общематематической компетентности у будущих юристов в условиях модернизации высшего образования. Наука и образование, № 2 (70) 2013, изд-во Сфера, Якутск, — С. 128—132.

## СЕКЦИЯ 3.

### ФИЗИКА

#### 3.1. АКУСТИКА

#### ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ПРИ ОТКЛОНЕНИИ ЭЛЕРОНА

*Бабарыкин Константин Валентинович*

*канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник,*

*Санкт-Петербургский государственный университет,*

*РФ, г. Санкт-Петербург*

*E-mail: [konst20@mail.ru](mailto:konst20@mail.ru)*

#### CHARACTERISTICS OF TRANSONIC FLOWING PAST AIRFOILE WITH DEFLECTED AILERON

*Babarykin Konstantin Valentinovich*

*philosophy doctor, researcher, Saint-Petersburg State University,*

*Russia, Saint-Petersburg*

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 13-08-00288)*

*Исследования были проведены с использованием вычислительных ресурсов Ресурсного Центра "Вычислительный центр СПбГУ" (<http://cc.spbu.ru>)*

#### АННОТАЦИЯ

Проведено численное исследование трансзвукового обтекания профиля Whitcomb известной CFD-программой Fluent. Изучено поведение коэффициента подъемной силы в диапазоне числа Маха

от 0.81 до 0.86. Проведено сравнение полученных результатов с данными аналогичных расчетов другой программой. Изучено аномально резкое уменьшение коэффициента подъемной силы при сравнительно небольшом поднятии элерона для числа Маха 0.82.

#### ABSTRACT

A numerical investigation of transonic flow around airfoil Whitcomb by well known CFD program Fluent is carried out. The behavior of lift coefficient in the range of freestream Mach number from 0.81 to 0.86 is considered. The obtained results are compared with the data of similar calculations by another program. An abnormally sharp reduction of the lift coefficient with a relatively small aileron raising for freestream Mach number 0.82 is studied.

**Ключевые слова:** транзвуковое течение; аэродинамический профиль; коэффициент подъемной силы; ударная волна.

**Keywords:** transonic flow; airfoil; lift coefficient; shock wave.

#### Введение. Постановка задачи.

В настоящей работе рассматривается транзвуковое обтекание несимметричного аэродинамического профиля Whitcomb. Его форма представлена на рис. 1. Длина профиля 2,5 м, толщина составляет 11,5 % от длины хорды, в хвостовой части имеется элерон, длина которого составляет 30 % от общей длины.



Рисунок 1.

Данный профиль имеет высокие аэродинамические характеристики при числах Маха набегающего потока до 0,8, однако их поведение при  $M_\infty > 0,81$  изучено недостаточно. В [1—2] обнаружены условия обтекания, при которых происходит резкое изменение коэффициента подъемной силы, обусловленное расщеплением или слиянием местных сверхзвуковых зон на верхней стороне профиля. Также выявлено, что при числе Маха, превышающем 0,85, течение практически невосприимчиво к отклонению элерона от нейтрального положения, что может затруднить управление транзвуковым обтеканием. Таким образом, целью настоящей

работы является изучение течения около профиля в диапазоне чисел Маха от 0,81 до 0,86.

Моделировалось турбулентное обтекание профиля потоком газа со следующими параметрами: давление  $p_{\infty} = 26434$  Па, температура  $T_{\infty} = 223,15$  К, что соответствует параметрам атмосферы на высоте 10 км. Расчеты проводились по программе ANSYS Fluent 13 на различных сетках, содержащих от 227 до 600 тыс. элементов

### **Результаты предварительных расчетов**

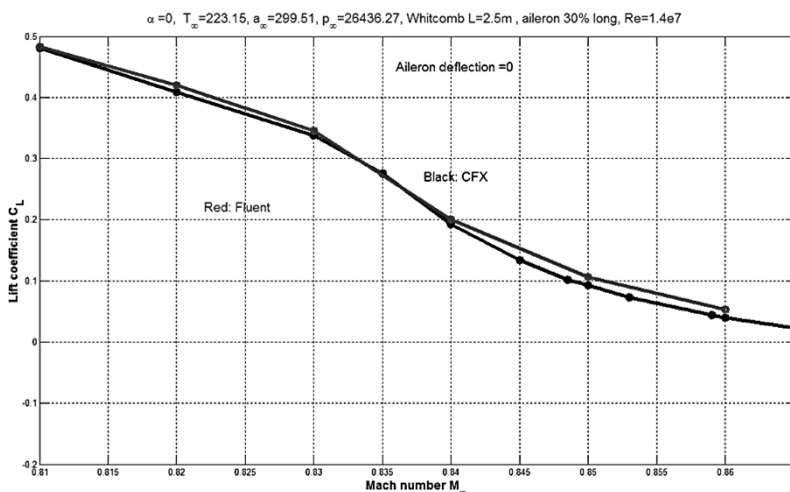
Был проведен ряд тестовых расчетов на режиме  $M_{\infty} = 0,8485$  и углом атаки  $\alpha$  от  $-1^{\circ}$  до  $1^{\circ}$ , с отклонением элерона  $\theta = 4^{\circ}$ , в которых были опробованы различные модели турбулентности, как классическая модель Spalart-Allmaras, так и более современные модели SST. Эти расчеты показали, что модели SST Transition и SST  $k-\omega$  дают довольно близкие значения коэффициента подъемной силы  $C_L$ . Значения  $C_L$ , полученные при использовании модели Spalart-Allmaras довольно заметно отличаются в большую сторону. Это, в общем, подтверждает факт, что модель турбулентности Spalart-Allmaras в случае трансзвукового обтекания аэродинамического профиля может давать худшие по сравнению с моделями семейства SST результаты. Основная часть расчетов поэтому велась с использованием хорошо себя зарекомендовавшей в этом круге задач модели SST  $k-\omega$  [3]. Эта модель довольно точно описывает течения с отрывом турбулентного пограничного слоя от гладких поверхностей.

Для верификации вычислительной программы некоторые режимы обтекания были просчитаны на разных сетках, 227 и 387 тыс. элементов. Было обнаружено, что результаты расчетов практически не восприимчивы к сгущению сетки. Так, на режиме  $M_{\infty} = 0,8485$ ,  $\alpha = 0^{\circ}$ , с отклонением элерона  $\theta=4^{\circ}$ , при переходе к более густой сетке изменение  $C_L$  составило примерно 6 %. Аналогичные результаты были получены для режимов с отклонением элерона  $4$  и  $5^{\circ}$  для  $M_{\infty} = 0,82$ . Для меньших отклонений элерона ( $1,3^{\circ}$ ), результаты оказались более чувствительны к сетке. В целом же можно сделать вывод, что для рассматриваемого профиля дальнейшее сгущение сетки практически не влияет на  $C_L$ .

### **Исследование зависимости $C_L$ от числа Маха и геометрии профиля**

Было исследовано влияние числа Маха набегающего потока на коэффициент подъемной силы. Рассчитывались режимы с нулевым углом атаки и нулевым отклонением элерона, число Маха менялось от 0,81 до 0,86. Расчет показал, что при увеличении числа Маха происходит значительное уменьшение аэродинамического качества

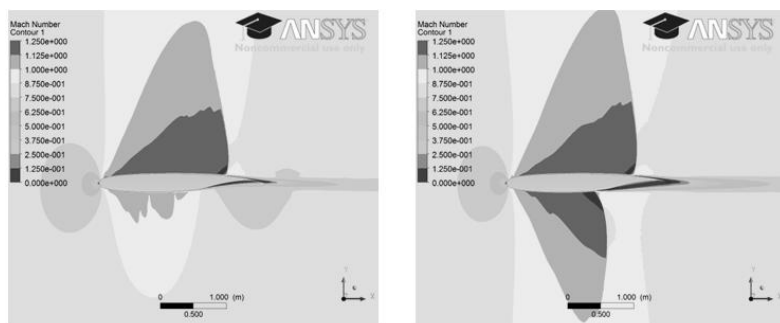
профиля. Для числа Маха 0,81 значение  $C_L$  составило  $\approx 0,49$  (что неплохо отвечает экспериментальному  $\approx 0,53$  [4]), при увеличении  $M_\infty$  наблюдается уменьшение коэффициента подъемной силы почти в 10 раз при  $M_\infty = 0,86$ . Зависимость коэффициента подъемной силы  $C_L$  от числа Маха  $M_\infty$  представлена на рис. 2. Данный результат получен на сетке в 227 тыс. ячеек, при этом использовался реализованный в Fluent алгоритм density-based. Для сравнения на этом же рисунке приведены данные, полученные расчетом программой CFX. Можно отметить хорошее качественное и количественное согласование данных, полученных разными программами.



**Рисунок 2.**

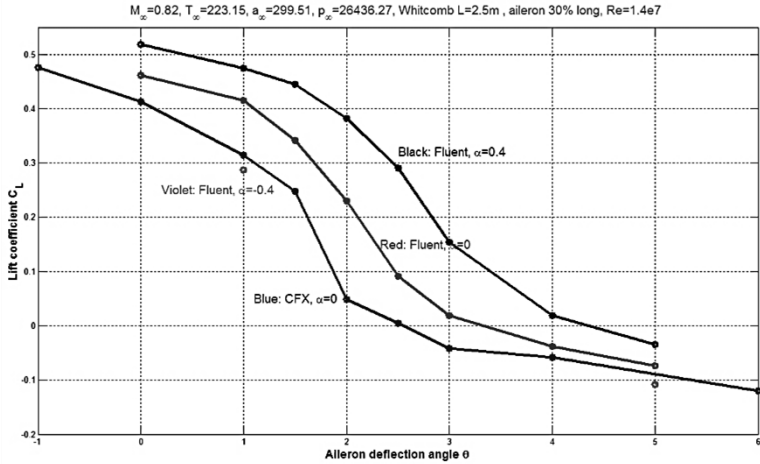
Резкое уменьшение подъемной силы при увеличении числа Маха можно объяснить следующим образом. Известно, что при трансзвуковом обтекании на верхней и нижней сторонах профиля могут образовываться местные сверхзвуковые области, при определенных условиях с замыкающей ударной волной. Коэффициент подъемной силы зависит от соотношения размеров этих зон. Особенность рассматриваемого профиля заключается в том, что при сравнительно небольших числах Маха на нижней поверхности профиля не образуется ярко выраженной сверхзвуковой зоны, что и обеспечивает высокие значения  $C_L$ . Проведенный расчет также показал, что на малых числах Маха формируются лишь небольшие

сверхзвуковые области (рис. 3а). На верхней стороне профиля в исследованном диапазоне  $M_\infty$  образуется одна большая сверхзвуковая зона, размеры которой при изменении  $M_\infty$  меняются незначительно. На нижней же стороне картина течения претерпевает существенную перестройку. При больших значениях  $M_\infty$  формируется классическая сверхзвуковая зона с замыкающей ударной волной (рис. 3б). Увеличение  $M_\infty$  приводит к увеличению размеров этой зоны. Соответственно, суммарная сила, действующая на нижнюю часть профиля, также уменьшается. При этом сила, действующая на верхнюю поверхность, меняется мало, вследствие чего и происходит наблюдаемое в диапазоне числа Маха от 0,81 до 0,86 падение  $C_L$ .

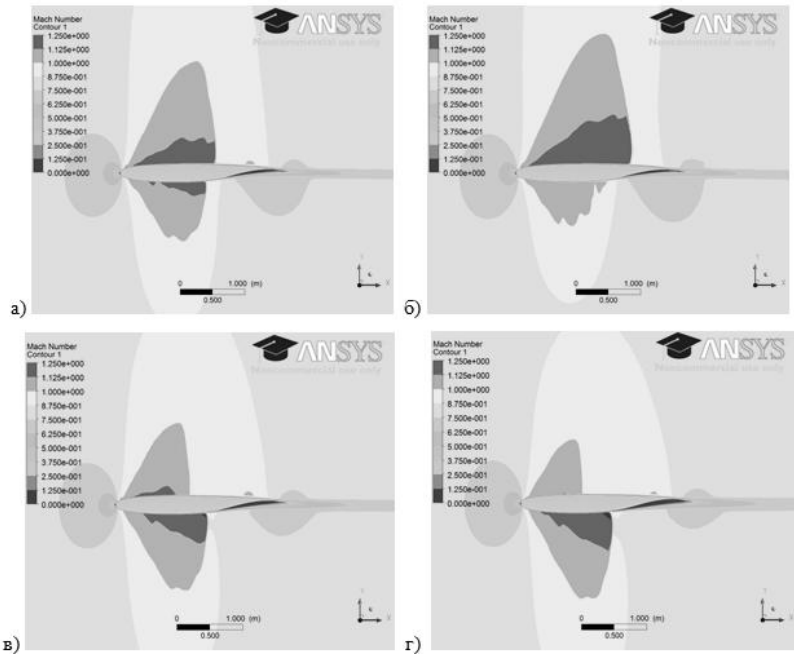


**Рисунок 3. а — Поля числа Маха,  $M_\infty = 0,82$ ; б — Поля числа Маха,  $M_\infty = 0,85$**

Важной характеристикой аэродинамического профиля или крыла является его управляемость. Поэтому существенным моментом является реакция картины обтекания на изменение положения управляющих элементов. В нашем случае интерес представляет поведение подъемной силы при поднятии или опускании элерона. При расчетах программой CFX было обнаружено, что при сравнительно малых числах Маха, до 0,83, может происходить сильное изменение коэффициента подъемной силы при малом изменении угла отклонения элерона  $\theta$  от нейтрального положения. Было проведено численное исследование течения при  $M_\infty = 0,82$  и отклонении элерона от 0 до 5°. В этой серии расчетов использовался алгоритм pressure-based, количество элементов сетки было большим, порядка 387 тыс. На рис. 4 приведены графики зависимости  $C_L$  от  $\theta$  для углов атаки  $\alpha = 0^\circ$  и  $\alpha = 0.4^\circ$ . Также для нулевого угла атаки приведена зависимость, полученная в CFX.



**Рисунок 4.**



**Рисунок 4. а) Поля числа Маха,  $\theta = 1,5^\circ$ ; б) Поля числа Маха,  $\theta = 2,0^\circ$ ; в) Поля числа Маха,  $\theta = 2,5^\circ$ ; з) Поля числа Маха,  $\theta = 3,0$**



Как показали расчеты, и в CFX, и во Fluent, самое резкое падение  $C_L$  происходит при увеличении  $\theta$  от  $1^\circ$  до  $3^\circ$ . Видно, что при сохранении общей тенденции к уменьшению  $C_L$  количественные расхождения в результатах разных программ отмечаются именно на этом участке. Были проведены также расчеты для отрицательного угла атаки при  $\theta = 1^\circ$  и  $\theta = 5^\circ$ . Было обнаружено, что при  $\alpha = -0.4^\circ$  перепад  $C_L$  заметно меньше, чем нулевом угле. При положительном же угле атаки, как следует из полученной зависимости для  $\alpha = 0.4^\circ$ , данный эффект проявляется сильнее. Рассмотрим эволюцию картины течения, наблюдающуюся при нулевом угле атаки вследствие увеличения отклонения элерона  $\theta$ . На рис. 4а—4г приведены результаты расчета для различных значений  $\theta$ . При нулевом угле отклонения газ над профилем обтекает гладкую поверхность, при поднятии элерона на верхней поверхности появляется точка излома. По сути, сверхзвуковой поток в верхней зоне обтекает внутренний тупой угол.

Из теории ударных волн известно, что возможен разворот потока в таком угле на косой ударной волне с сохранением сверхзвуковой скорости. В нашем случае при выходе слабой косой волны на замыкающую ударную волну образуется  $\lambda$ -конфигурация ударных волн. Так как газ в сверхзвуковой зоне разгоняется до сравнительно малых чисел Маха ( $\approx 1,3$ ), то какой характер обтекания точки излома может наблюдаться лишь при очень малых  $\theta$ . При дальнейшем увеличении  $\theta$  разворот потока в присоединенной ударной волне становится невозможен, и газ начинает тормозиться на отошедшей ударной волне. Кроме того, по мере увеличения  $\theta$  увеличивается и расстояние от ударной волны до точки излома. Аналогичная картина имеет место в случае обтекания тел плохой аэродинамической формы сверхзвуковым потоком, когда головная ударная волна располагается от тела тем дальше, чем более оно затуплено, а также чем меньше число Маха набегающего потока. Поэтому на рис. 4в и 4г мы видим лишь небольшую сверхзвуковую зону на верхней части профиля. Не менее существенные изменения наблюдаются и на нижней стороне профиля. При поднятии элерона газ вдоль нижней поверхности начинает течь более свободно, что позволяет ему разогнаться до больших значений числа Маха. Если при нулевом или небольшом значении  $\theta$  присутствуют лишь небольшие сверхзвуковые области, как на рис. 4а, то при  $\theta \geq 2^\circ$  уже формируется полноценная сверхзвуковая область с замыкающей ударной волной. На участке разгона газа давление снижается сильнее, а сам участок становится протяженнее. При дальнейшем увеличении  $\theta$  растут размеры сверхзвуковой зоны, усиливается и замыкающая волна, а точка отрыва

погранслоя смещается вверх по течению. Поток перестает попадать на поверхность в хвостовой части профиля, под элероном образуется зона отрыва, что можно заметить при сравнении картины течения вблизи хвоста на рис. 4а и рис. 4г. Таким образом, при увеличении угла элерона на небольшую, в  $2^\circ$ , величину, происходит резкая перестройка картины течения на обеих сторонах профиля. Одновременно увеличивается сила, действующая на верхнюю поверхность профиля, и уменьшается действующая на нижнюю. Вследствие этого и наблюдается столь резкое падение коэффициента подъемной силы.

### **Заключение**

Проведено численное исследование трансзвукового турбулентного обтекания профиля Whitcomb известной CFD-программой Fluent. Осуществлен ряд тестовых расчетов на различных сетках, с использованием различных моделей турбулентности. Для нулевого угла атаки исследовано поведение коэффициента подъемной силы  $C_L$  в диапазоне числа Маха от 0,81 до 0,86. Верификация результатов осуществлена сравнением полученных данных с данными аналогичных расчетов другой программой. Изучено аномально резкое изменение  $C_L$  при сравнительно небольшом изменении геометрии профиля.

### **Список литературы:**

1. Kuzmin A., Ryabinin A. Airfoils admitting anomalous behavior of lift coefficient in descending transonic flight: The Seventh Intern. Conference on Comput. Fluid Dynamics, — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.iccfd.org/iccfd7>, — 2012, — pp. 1—7.
2. Kuzmin A. Transonic flow past a Whitcomb airfoil with a deflected aileron // International Journal of Aeronautical and Space Sciences — 2013. — Vol. 14 — № 3 — pp. 210—214.
3. Menter F.R. Review of the Shear-Stress Transport turbulence model experience from an industrial perspective // Intern. J. Comput. Fluid Dynamics, — 2009, — vol. 23, Issue 4, — pp. 305—316.
4. Harris C.D. NASA supercritical airfoils: NASA Tech. Paper — № 2969. — 1990. — 72 p.

# МОДЕЛЬ АСИМПТОТИЧЕСКИ ОСРЕДНЕННОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ТУРБУЛЕНТНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА

**Филиппов Александр Иванович**

*д-р техн. наук, профессор СФ БашГУ,  
РФ, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак  
E-mail: [filippovai@rambler.ru](mailto:filippovai@rambler.ru)*

**Ахметова Оксана Валентиновна**

*канд. физ.-мат. наук, доцент СФ УГНТУ,  
РФ, Республика Башкортостан, г. Салават  
E-mail: [ahoksana@yandex.ru](mailto:ahoksana@yandex.ru)*

**Олефиренко Константин Викторович**

*аспирант СФ БашГУ,  
РФ, Республика Башкортостан, г. Стерлитамак  
E-mail: [k.v.olefirenko@gmail.com](mailto:k.v.olefirenko@gmail.com)*

## MODEL IS ASYMPTOTICALLY AVERAGED TEMPERATURE FIELD OF TURBULENT GAS FLOW

**Filippov Alexandr Ivanovich**

*doctor of engineering sciences, professor of Bashkir State University,  
Russia, Republik of Bashkortostan, Sterlitamak*

**Akhmetova Oksana Valentinovna**

*candidate of phys.-mathem. sciences, associate professor  
of Ufa State Petroleum Technological University,  
Russia, Republik of Bashkortostan, Salavat*

**Olefirenko Konstantin Viktorovich**

*aspirant of Bashkir State University,  
Russia, Republik of Bashkortostan, Sterlitamak*

### АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты расчетов температуры газового потока на основе выражений для нулевого коэффициента

асимптотического разложения. Построенные зависимости позволяют судить о характере изменения температуры по стволу газовой скважины и во времени, что составляет основу интерпретации термограмм.

### ABSTRACT

The paper presents the results of calculations of temperature gas stream based on the expressions for the zero coefficient of the asymptotic expansion. Built dependencies allow to judge the nature of temperature change on the trunk and gas well in time, that is the basis of the interpretation of infrared images.

**Ключевые слова:** поток газа; газовая скважина; температурное поле; асимптотический метод; турбулентный режим течения.

**Keywords:** gas flow; gas well; temperature field; asymptotic method; turbulent flow regime.

При исследовании температурного поля газового потока в скважине необходим учет сжимаемости среды. Уменьшение давления от пластового до атмосферного при течении газа в скважине приводит к изменению плотности среды на один-два порядка. Даже при стационарном течении плотность газа является функцией относительной вертикальной цилиндрической координаты  $z_d / D$ :

Оценки показывают, что радиальной координатой скорости  $v_r$  в сравнении с вертикальной  $v$  можно пренебречь. Из стационарного уравнения неразрывности  $\partial(\rho v) \partial z_d = 0$  следует, что произведение плотности на скорость остается постоянным на поверхности фиксированного радиуса и равным произведению плотности  $\rho_0$  и скорости  $v_0 R(r_d / r_0)$  при некотором заданном значении  $z_d$ :  $\rho_0 v_0 R(r_d / r_0)$ .

Математическая постановка задачи о температурном поле газовой скважины включает уравнение теплопроводности в окружающем трубу массиве

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} = \lambda_{1z} \frac{\partial^2 \theta_1}{\partial z_d^2} + \lambda_{1r} \frac{1}{r_d} \frac{\partial}{\partial r_d} \left( r_d \frac{\partial \theta_1}{\partial r_d} \right), \quad r_d > r_0, \quad (1)$$

$$\tau > 0, \quad z_d > 0$$

и уравнение конвективной теплопроводности потока газа в скважине

$$\begin{aligned}
 & c\rho_0 Z \left( \frac{z_d}{D} \right) \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + c\rho_0 v_0 R \left( \frac{r_d}{r_0} \right) \frac{\partial \theta}{\partial z_d} = \\
 & = \lambda_z \frac{\partial^2 \theta}{\partial z_d^2} + \lambda_r \frac{1}{r_d} \frac{\partial}{\partial r_d} \left( r_d \lambda \left( \frac{r_d}{r_0} \right) \frac{\partial \theta}{\partial r_d} \right) + q(z_d) \quad , r_d < r_0, \quad (2) \\
 & \tau > 0, z_d > 0.
 \end{aligned}$$

Выражение для плотности источников  $q(z_d)$  учитывает переход механической энергии в теплоту (за счет трения) и адиабатический эффект в восходящем потоке газа и другие источники тепла.

Условия на границе трубы и окружающего массива определяются равенством температур

$$\theta \Big|_{r_d=r_0} = \theta_1 \Big|_{r_d=r_0} \quad (3)$$

и тепловых потоков

$$\left( \lambda_r \lambda \left( \frac{r_d}{r_0} \right) \frac{\partial \theta}{\partial r_d} \right) \Big|_{r_d=r_0} = \lambda_{1r} \frac{\partial \theta_1}{\partial r_d} \Big|_{r_d=r_0} . \quad (4)$$

Начальные условия соответствуют естественной невозмущенной температуре Земли, возрастающей с глубиной  $z_d$  по линейному закону

$$\theta \Big|_{\tau=0} = \theta_{01} - \Gamma z_d, \quad \theta_1 \Big|_{\tau=0} = \theta_{01} - \Gamma z_d, \quad (5)$$

которая совпадает с температурой в удаленных от трубы точках окружающего массива

$$\theta_1 \Big|_{r_d \rightarrow \infty} = \theta_{01} - \Gamma z_d. \quad (6)$$

В точке  $z_d = 0$  температура потока изменяется заданным образом и зависит от времени

$$\theta \Big|_{z_d=0} = \theta_{10}(\tau). \quad (7)$$

В задаче (1)—(7) переменные коэффициенты  $R(r_d/r_0)$  и  $\lambda(r_d/r_0)$  представляют зависимость скорости и коэффициента теплопроводности от радиальной координаты, а  $Z(z_d/D)$  — зависимость плотности от вертикальной координаты. В предлагаемых расчетах эти коэффициенты определены из уравнений Сполдинга [1] и уравнения состояния Менделеева-Клапейрона.

С использованием соотношений

$$r = \frac{r_d}{r_0}, \quad z = \frac{z_d}{D}, \quad \text{Fo} = \frac{\alpha a_{1r}}{r_0^2}, \quad a_{1r} = \frac{\lambda_{1r}}{\rho_1 c_1}, \quad \text{Pe} = \frac{v_0 r_0}{a_{1r}}, \quad \Lambda = \frac{\lambda_{1r}}{\lambda_r},$$

$$\chi = \frac{c_1 \rho_1}{c \rho_0}, \quad v = \frac{r_0}{D}, \quad T_1 = \frac{\theta_1 - \theta_{01} + \Gamma z_d}{\theta_{11}}, \quad T = \frac{\theta - \theta_{01} + \Gamma z_d}{\theta_{11}},$$

$$T_0(\text{Fo}) = \frac{\theta_{10}(\tau) - \theta_{01}}{\theta_{11}}, \quad \theta_{11} = \Gamma D, \quad Q(z) = \frac{r_0^2 q(z_d)}{a_{1r} c \rho_0 \theta_{11}},$$

задача (2.1)—(2.7) приводится к безразмерным переменным. При этом в уравнениях (2.1) и (2.2) слагаемые, содержащие вторую производную температуры по вертикальной координате, приобретают малый множитель — квадрат величины  $v = r_0/D \sim 10^{-4}$ , где  $r_0 \sim 0,1$  м — радиус скважины и  $D \sim 10^3$  м — ее длина. Поэтому слагаемые, содержащие коэффициент  $v^2$  в уравнениях, опущены.

С учетом вышесказанного в безразмерном виде задача (2.1)—(2.7) запишется как

$$\frac{\partial T_1}{\partial \text{Fo}} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) = 0, \quad r > 1, \text{Fo} > 0, z > 0, \quad (8)$$

$$Z(z) \frac{\partial T}{\partial \text{Fo}} + \nu \text{Pe} R(r) \left( \frac{\partial T}{\partial z} - 1 \right) = \frac{\chi}{\varepsilon \Lambda} \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda(r) r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + Q(z), \quad (9)$$

$$r < 1, \text{Fo} > 0, z > 0,$$

$$T|_{r=1} = T_1|_{r=1}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=1} = \varepsilon \Lambda \lambda(r) \frac{\partial T_1}{\partial r} \Big|_{r=1}, \quad (11)$$

$$T|_{\text{Fo}=0} = 0, \quad T_1|_{\text{Fo}=0} = 0, \quad (12)$$

$$T_1|_{r \rightarrow \infty} = 0, \quad (13)$$

$$T|_{z=0} = T_0(\text{Fo}). \quad (14)$$

В задаче (2.8)—(2.14) заменой  $\Lambda$  на  $\varepsilon \cdot \Lambda$  формально введен параметр асимптотического разложения  $\varepsilon$ . Такое введение формального параметра в задаче имеет физический смысл, заключающийся в том, что устремление его к нулю  $\varepsilon \rightarrow 0$  соответствует возрастанию радиальной компоненты теплопроводности газа до бесконечности  $\lambda_r \rightarrow \infty$  (случай  $\varepsilon=1$  соответствует исходной задаче). Задача (2.8)—(2.14) представляет собой задачу сопряжения, содержащую краевые условия 4-го рода и линейное неоднородное дифференциальное уравнение параболического типа с тремя переменными коэффициентами  $R(r)$ ,  $\lambda(r)$ ,  $Z(z)$  и стационарным источником  $Q(z)$ . Решение задачи о температурном поле турбулентного потока газа в скважине, содержащей уравнения с переменными коэффициентами, найдено на основе развитой авторами модификации асимптотического метода в форме

$$T_1 = T_1^{(0)} + \Theta_1, \quad T = T^{(0)} + \Theta. \quad (15)$$

Величина остаточного члена  $\Theta$  дает оценку точности нулевого приближения. Для  $\Theta$  формулируется краевая задача и отыскивается точное или приближенное решение. Исследование поведения найденного решения для остаточного члена позволяет отыскать область лучшей применимости первого приближения.

Далее показано, что коэффициент  $T^{(0)}$  может быть найден таким образом, что асимптотически осредненное значение остаточного члена обращается в нуль  $\langle \Theta \rangle_a = \Theta^{(0)} = 0$  при любых значениях параметра  $\varepsilon$ . Такое асимптотическое приближение соответствует «в среднем точному».

Выражение для нулевого коэффициента разложения температуры флюида имеет вид

$$T^{(0)n} = \int_0^z F(\xi) \exp\left(-\int_{\xi}^z \alpha(\xi') d\xi'\right) d\xi + T_0(p) \exp\left(-\int_0^z \alpha(\xi) d\xi\right), \quad r < 1, z > 0, \quad (16)$$

где  $\alpha(z) = \frac{pZ(z) + 2\chi k\sqrt{p}}{2\nu\text{Pe}R_1(1)}$ ,  $F(z) = \frac{Q(z)}{2\nu\text{Pe}R_1(1)} + 1$ . Для внешней области

$$T_1^{(0)n} = \frac{K_0(r\sqrt{p})}{K_0(\sqrt{p})} \left[ \int_0^z F(\xi) \exp\left(-\int_{\xi}^z \alpha(\xi') d\xi'\right) d\xi + T_0(p) \exp\left(-\int_0^z \alpha(\xi) d\xi\right) \right], \quad r > 1, \quad (17)$$

$z > 0$ .

Выражения (16) и (17) представляют точное решение задачи в нулевом приближении в пространстве изображений.



В предположении малых времен в пространстве оригиналов (16) представится как

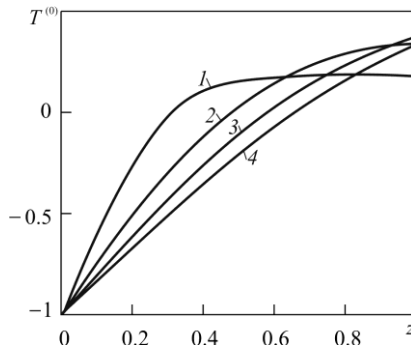
$$T^{(0)} = \int_0^z (1 - F(\xi)) \operatorname{erfc} \frac{\chi(z - \xi)}{\sqrt{2\nu\operatorname{Pe}R_1(1)Fo - \int_{\xi}^z Z(\xi')d\xi'}} \Phi \left( Fo - \int_{\xi}^z \frac{Z(\xi')}{2\nu\operatorname{Pe}R_1(1)} d\xi' \right) d\xi +$$

$$+ \operatorname{erfc} \frac{\chi z}{\sqrt{2\nu\operatorname{Pe}R_1(1)Fo - \int_0^z Z(\xi')d\xi'}} \Phi \left( Fo - \int_0^z \frac{Z(\xi')}{2\nu\operatorname{Pe}R_1(1)} d\xi' \right) \quad r < 1, \quad z > 0. \quad (18)$$

Формула (18) позволяет строить пространственно-временные зависимости асимптотически осредненной по радиусу температуры турбулентного потока газа.

Для расчета кривых использованы следующие значения параметров скважины:  $D = 1000$  м,  $r_0 = 0,031$  м; наполняющего флюида: метан  $c = 2866$  Дж/(К·кг),  $\rho = 71,4$  кг/м<sup>3</sup>; окружающей среды:  $\Gamma = 0,04$  К/м, глина —  $\lambda = 0,67$  Вт/(м·К),  $c = 950$  Дж/(К·кг),  $\rho = 2000$  Дж/(К·кг). Безразмерный температурный сигнал пласта  $T_0 = -1$ .

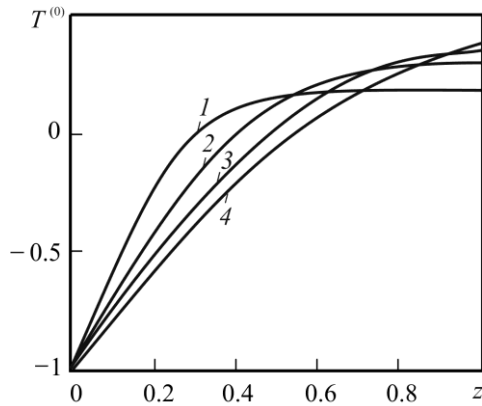
Рис. 1 иллюстрирует зависимость температуры метана при дебите  $Q_m = 100$  т/сут от безразмерной вертикальной координаты при разных значениях безразмерного времени.



**Рисунок 1. Зависимость температуры от вертикальной координаты для различных значений безразмерного времени:**

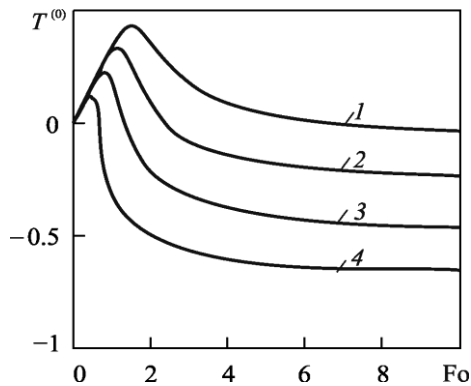
**1 —  $Fo = 0,22$ , 2 —  $0,44$ , 3 —  $0,66$ , 4 —  $0,88$**

На рис. 2 представлена зависимость температуры от вертикальной координаты для различных значений параметра Пекле



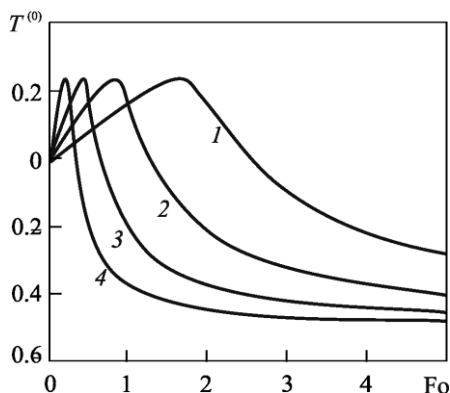
**Рисунок 2. Зависимость температуры от вертикальной координаты для различных значений параметра Пекле: 1 —  $Pe = 14,7$ , 2 —  $22,85$ , 3 —  $30,47$ , 4 —  $38,09$**

На рис. 3 представлена зависимость температуры газа от безразмерного времени при разных значениях безразмерной вертикальной координаты.



**Рисунок 3. Зависимость температуры газа от безразмерного времени при разных значениях безразмерной вертикальной координаты: 1 —  $z = 0,9$ , 2 —  $0,7$ , 3 —  $0,5$ , 4 —  $0,3$**

Зависимость температуры от безразмерного времени для различных значений параметра Пекле показана на рис. 4.



**Рисунок 4.** Зависимость температуры от безразмерного времени для различных значений параметра Пекле: 1 —  $Pe = 14,7$ , 2 —  $22,85$ , 3 —  $30,47$ , 4 —  $38,085$

Итак, применение метода асимптотического разложения по формальному параметру позволило построить приближенное аналитическое решение задачи о температурном поле газовой скважины, содержащей уравнение сопряжения с тремя переменными коэффициентами.

Анализ полученных результатов показывает, что полученные выражения для температуры удовлетворяют большинству требований, предъявляемых к инженерным методам расчетов, и могут быть широко использованы на практике.

### Список литературы:

1. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Родионов А.С. Температурное поле турбулентного потока в скважине // Теплофизика высоких температур. — 2013. — Т. 51, — № 2. — С. 277—286.
2. Филиппов А.И., Ахметова О.В., Родионов А.С. Асимптотическое осреднение температуры турбулентного потока в скважине. // Вестник Тюменского государственного университета. — 2012, — № 4. — С. 6—13.

## 3.2. АСТРОМЕТРИЯ И НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА

### СЕМЕЙСТВО АСТЕРОИДОВ АПОФИСА (99942)

**Обрубов Юрий Викторович**

*д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры высшей математики  
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
РФ, г. Калуга  
E-mail: [obrubovyu@yandex.ru](mailto:obrubovyu@yandex.ru)*

**Влайков Николай Дмитриевич**

*старший преподаватель кафедры высшей математики  
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
РФ, г. Калуга  
E-mail: [nick-vlaikov@yandex.ru](mailto:nick-vlaikov@yandex.ru)*

### A FAMILY OF ASTEROIDS OF APOPHIS (99942)

**Obrubov Yury Viktorovich**

*doctor of physical and mathematical Sciences Professor of Department  
of higher mathematics BMSTU, Kaluga branch,  
Russia, Kaluga city*

**Vlaikov Nikolai Dmitrievich**

*senior lecturer of Department of higher mathematics  
BMSTU, Kaluga branch,  
Russia, Kaluga city*

### АННОТАЦИЯ

Астероид 99942 Апофис представляет потенциальную опасность. В банке орбит астероидов групп Аполлона и Атона выполнен поиск астероидов близких к орбите астероида Апофиса. Близость орбит оценивалась по  $D$ -критерию Саутворга-Хокинса. В результате обнаружено 30 астероидов группы Атона и два астероида группы Аполлона, для которых значение  $D$ -критерия не превышает критического уровня. Для найденных орбит также были вычислены

значения  $T$ -критерия Тиссерана и постоянные Лидова  $C_1$  и  $C_2$ . Близкие значения указанных величин позволяют сделать вывод о возможности существования семейства астероидов Апофиса.

#### ABSTRACT

Asteroid Apophis is potentially hazardous for the Earth. The disruption of asteroids due to their mutual collisions is one of episodes of their evolution. Because of ejection velocities is not high, the debries must have close orbits in some means. So it was made a search of asteroids close to Apophis by means of  $D$ -criterion of Southworth and Hawkins. As a result it was found 30 atens and 2 apollo asteroids with  $D < D_c$ . The calculation of  $T$ -criterion of Tisserand and Lidov's constants  $C_1$  and  $C_2$  shows a possibility of existance of asteroids family of Apophis.

**Ключевые слова:** астероид; орбита; атонцы; аполлонцы; Апофис.

**Keywords:** asteroid; orbit; atens; apollos; Apophis.

Выявление взаимосвязей между малыми телами Солнечной системы представляет несомненный интерес, так как позволяет решать вопросы их происхождения и эволюции. Уже в 1876 г. Д. Кирквуд выявил 10 групп астероидов, двигавшихся по сходным орбитам и состоявших из 2—3 астероидов [6]. По его мнению, эти астероиды можно было рассматривать как осколки более крупных тел. К 1899 г. среди 417 астероидов было выявлено 20 пар с близкими орбитами. Однако, по мнению Хираямы [13], сходство орбит еще не означает общность их происхождения. Такое сходство могло быть и случайным, образовавшимся под действием различных факторов. Отметим, что группу астероидов, имеющих общее происхождение, принято называть семейством. С другой стороны, даже если астероиды и имеют общее происхождение и на начальном этапе элементы их орбит близки между собой, то под действием планетных возмущений орбиты могли очень сильно измениться. Хираяма поставил вопрос: можно ли выявить семейства астероидов, образовавшиеся в далеком прошлом?

Для решения этой задачи Хираяма использовал так называемые *собственные* элементы орбит, которые слабо изменяются под действием планетных возмущений. Исследуя собственные наклоны и эксцентриситеты, он выявил пять семейств астероидов в главном поясе, в которые вошли десятки известных астероидов.

Для выявления семейств довольно часто применяется критерий Тиссерана —  $T$ , который вычисляется по формуле:

$$T = \frac{a_p}{a} + 2 \sqrt{\frac{a}{a_p} (1 - e^2)} \cos i \quad (1)$$

В формуле (1)  $a_p$  — большая полуось орбиты возмущающей планеты,  $a$  — большая полуось орбиты астероида,  $e$  — ее эксцентриситет а  $i$  — наклон.

Критерий Тиссерана использовался, например, в работе [15] для поиска возможных семейств среди коротко-периодических комет и околоземных астероидов.

Рассматривая только вековые возмущения, в работах [2—3] были получены две константы  $C_1$  и  $C_2$  (постоянные Лидова), которые вычислялись по формулам:

$$C_1 = (1 - e^2) \cos^2 i, \quad C_2 = e^2 (0,4 - \sin^2 i \sin^2 \omega) \quad (2)$$

где:  $\omega$  — аргумент перигелия орбиты астероида.

Постоянство  $C_1$  вытекает из критерия Тиссерана, если учесть, что большие полуоси не содержат вековых возмущений.  $C_2$  также слабо изменяется под действием вековых возмущений и вместе с  $C_1$  описывает синхронные изменения эксцентриситета, наклона и аргумента перигелия. При  $\omega = 0$  или  $180^\circ$  наклон достигает максимума, а эксцентриситет — минимума, при  $\omega = 90^\circ$  или  $270^\circ$  наклон минимальный, а эксцентриситет — максимальный.

Для выявления близких орбит на текущий момент времени для последующего изучения возможности их взаимосвязи разработан ряд критериев [11, 14, 16]. Исторически первым является  $D$ -критерий Саутворта и Хокинса [18]. Считается, что этот критерий является метрикой в пятимерном нелинейном пространстве элементов орбит. Значение критерия вычисляется по формуле:

$$D^2 = (\Delta e)^2 + (\Delta q)^2 + 4 \sin^2 \frac{\Delta i}{2} + 4 \sin_1 \sin i_2 \sin^2 \frac{\Delta \Omega}{2} + (e_1 + e_2)^2 \sin^2 \frac{\Delta \pi}{2}, \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta e &= e_1 - e_2, \Delta i = i_1 - i_2, \Delta q = \\ &= q_1 - q_2, \Delta \Omega = \Omega_1 - \Omega_2, \Delta \pi = \pi_1 - \pi_2, \end{aligned} \quad (4)$$

а  $e_1, e_2, i_1, i_2, q_1, q_2, \Omega_1, \Omega_2, \pi_1, \pi_2$  — эксцентриситеты, наклоны, перигелийные расстояния, долготы восходящих узлов и долготы перигелиев двух сравниваемых орбит соответственно. Отметим, что неявно этот критерий использует условие пересечения орбит исследуемых объектов с орбитой Земли, в одном из узлов, и по этой причине является метрикой в четырехмерном пространстве.

Предельное значение  $D$ -критерия —  $D_c$ , оценивается по формуле [14]:

$$D_c = 0,20(360/N)^{1/4}, \quad (5)$$

в которой  $N$  — объем базы данных.

Отметим, что поиск семейств малых тел в Солнечной системе ведется непрерывно [4—5, 11—16, 19]. Наиболее актуальным направлением, по нашему мнению, является выявление семейств астероидов групп Аполлона и Атона [17]

Астероид 2004MN4 был открыт 19 июня 2004 г. в обсерватории Китт Пик (США) [10]. В 2004 г. были выполнены первые расчеты эволюции его орбиты и предсказана возможность столкновения этого астероида с Землей в 2029 г. В 2005 г. астероиду было присвоено — Апофис и порядковый номер 99942.

Вычисления планетных возмущений выявили высокую вероятность его столкновения с Землей в ближайшие 100 лет. Поэтому астероид Апофис (99942) был классифицирован как потенциально опасный для Земли. Размер Апофиса оценивается примерно в 270 м, масса —  $2,7 \cdot 10^{10}$  кг, а скорость его столкновения с Землей составит

12,59 км/с [8]. По различным оценкам энергия, выделяющаяся при таком столкновении, будет эквивалентна 500—800 Мт в тротиловом эквиваленте. Последствия такой катастрофы могут быть губительны для жизни на Земле.

Большая полуось орбиты Апофиса  $a < 1$  а.е., а афелийное расстояние  $Q > 1$  а.е., и поэтому он был классифицирован как астероид группы Атона [17].

Элементы орбиты Апофиса приведены в Таблице 1 согласно [8]. В ней даны: большая полуось —  $a$ , эксцентриситет —  $e$ , перигелийное расстояние —  $q$ , афелийное расстояние —  $Q$ , наклон —  $i$ , долгота восходящего узла —  $\Omega$ , аргумент перигелия —  $\omega$  и долгота перигелия —  $\pi = \omega + \Omega$ .

**Таблица 1.**

**Элементы орбиты Апофиса на эпоху 30,0 сентября 2012 г. (равноденствие 2000.0) по данным Jet Propulsion Laboratory (США)**

$a$ (а.е.)	$e$	$q$ (а.е.)	$Q$ (а.е.)
0.9223139256003	0.1910618890167	0.7460948847086	1.098532966492
$i$ (град.)	$\Omega$ (град.)	$\omega$ (град.)	$\pi$ (град.)
3.3319993779126	204.42752733234	126.41883691995	330.8463652523

Вторжение астероидов и комет в атмосферу Земли, а также твердых продуктов их разрушения, происходят со скоростями от 11,2 до 72 км/с и порождает болидные и/или метеорные явления. Поиск болидов, возможно связанных с Апофисом [1], дал положительный результат — было обнаружено 4 таких болида. Следовательно, можно сделать вывод, что возраст Апофиса достаточно велик и в прошлом Апофис, или его родительское тело подверглось разрушению в результате столкновения с другим астероидом (астероидами). Возможно, что и сам Апофис является результатом дробления более крупного астероида. При этом могли образоваться не только мелкие осколки, породившие болиды, но и крупные, которые сейчас могут наблюдаться в виде астероидов. Поэтому есть смысл поиска крупных фрагментов среди астероидов группы Атона.

Для поиска астероидов, возможно связанных с Апофисом, на первом этапе мы применили методику, аналогичную методике выявления метеороидных роев с использованием  $D$ -критерия Саутворта и Хокинса [18].



В метеорной астрономии считалось, что два объекта принадлежат одному метеорному рою, если значение  $D$ - критерия для их орбит не превышало 0,20. При этом предполагалось, что метеороиды, образующие рои, генетически связаны — то есть образовались при разрушении одного родительского тела.

Очевидно, что дисперсия орбит увеличивается со временем. С этой точки зрения, чем больше различие между орбитами членов какого-либо семейства, тем больше его возраст. С другой стороны если поиск проводится среди большого числа орбит, то возможная близость орбит может быть случайной. Поэтому предельное значение  $D$ -критерия необходимо корректировать в соответствие с формулой (5).

В качестве исходной базы данных элементов орбит астероидов группы Атона и Аполлона использовались каталоги NASA [7, 9]. На 13 сентября 2013 г. эти каталоги содержали информацию об орбитах 786 астероидов группы Атона и 5475 орбитах группы Аполлона.

Согласно формуле (5) предельное значение  $D_c$  для группы Атона составляет 0,17, а для группы Аполлона — 0,10. В результате поиска было найдено 30 астероидов группы Атона и 2 астероида группы Аполлона, орбиты которых отличаются от орбиты Апофиса не более чем на  $D_c$  по  $D$ -критерию Саутворта и Хокинса. Элементы орбит Апофиса и объектов его роя приведены в таблице 2 вместе со значениями  $D$ -критерия,  $T$ -критерия Тиссерана и постоянных Лидова  $C_1$  и  $C_2$ . В таблице 2 значения  $C_2$  даются умноженными на 100.

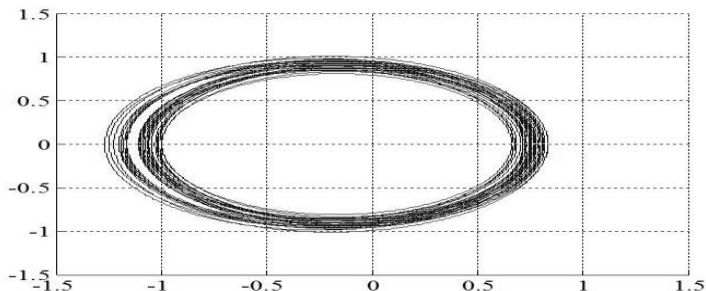
**Таблица 2.**

**Элементы орбит атонцев объектов роя Апофиса для которых значения  $D$ -критерия не превосходят 0,17**

	<i>Объекты</i>	$a$	$e$	$i$	$\omega$	$\Omega$	$D$	$T$	$C_1$	$C_2$ *100
1	99942Aphophis	0,92	0,191	3,3	126,4	204,4	0,000	2,967	0,960	1,451
Орбиты Атонцев										
2	(2012DK4)	0,89	0,181	4,1	148,5	168,3	0,065	2,974	0,962	1,306
3	(2001BB16)	0,85	0,173	2	195,6	122,6	0,086	2,992	0,969	1,197
4	(2005GE60)	0,96	0,246	5,6	112,7	229,9	0,091	2,932	0,931	2,372
5	(2012XL16)	0,99	0,179	3,1	58,5	260,1	0,092	2,965	0,965	1,275

	<i>Объекты</i>	<i>a</i>	<i>e</i>	<i>i</i>	$\omega$	$\Omega$	<i>D</i>	<i>T</i>	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub> *100
6	(2012BN1)	0,9	0,185	4,2	24,1	296,8	0,101	2,971	0,961	1,366
7	(2011CL50)	0,89	0,144	0,2	289,7	17,3	0,104	2,991	0,979	0,829
8	(2012AP10)	0,89	0,139	2,7	212,1	101,6	0,111	2,990	0,978	0,772
9	(2004BY1)	0,88	0,222	3,6	28,2	299	0,111	2,962	0,947	1,967
10	(2002CW11)	0,87	0,225	3,1	210,4	137,6	0,121	2,964	0,947	2,021
11	(2012FT35)	0,83	0,204	5,1	169,5	185,1	0,123	2,982	0,951	1,664
12	(2011EK)	0,9	0,165	8,7	178,2	155,4	0,125	2,961	0,951	1,089
13	(2002VX91)	0,98	0,201	2,3	78,4	216,6	0,129	2,958	0,958	1,610
14	(2010JR34)	0,96	0,145	0,7	316,3	36,9	0,129	2,980	0,979	0,841
15	(2012DH54)	0,94	0,146	3,3	131	162,3	0,135	2,979	0,975	0,849
16	(1999AO10)	0,91	0,111	2,6	7,6	313,3	0,136	2,993	0,986	0,493
17	(2010FY9)	0,89	0,148	4,3	335,1	357,1	0,137	2,984	0,973	0,874
18	(2007YF)	0,95	0,12	1,7	34,9	277,4	0,139	2,987	0,985	0,576
19	(2004HT59)	0,98	0,223	11,1	112,2	214,7	0,142	2,914	0,915	1,831
20	(2007XP)	0,99	0,271	7,7	64,7	255,7	0,143	2,908	0,910	2,830
21	(2007WC5)	0,97	0,21	8,5	66,3	236,7	0,145	2,936	0,935	1,683
22	(2009CE)	0,89	0,19	8,1	190,4	127,8	0,147	2,958	0,945	1,442
23	(2007EC)	0,93	0,196	5,8	45,8	307,9	0,149	2,957	0,952	1,516
24	(2011CH22)	0,88	0,236	0,1	27,6	334,7	0,157	2,960	0,944	2,228
25	(2012BK14)	0,98	0,192	1,5	254,3	118,8	0,159	2,963	0,962	1,472
26	(2007YS56)	0,94	0,283	6,2	63,7	274,7	0,159	2,913	0,909	3,128
27	(2003CA4)	0,92	0,12	7,5	173	139,9	0,159	2,975	0,969	0,576
28	(2007CM26)	0,94	0,18	7,2	152,3	142,7	0,161	2,9562	0,952	1,285
29	(2001CQ36)	0,94	0,177	1,3	344,3	30,7	0,163	2,972	0,968	1,253
30	(2001BA16)	0,94	0,138	5,8	243,1	115,5	0,163	2,974	0,971	0,746
31	(2010FN)	0,99	0,212	0,1	126	161,5	0,164	2,955	0,955	1,798
Орбиты Аполлонцев										
1	(2008 WO2)	1,03	0,19	2	85,7	238	0,095	2,962	0,963	1,440
2	(2008 GD110)	1,02	0,25	5,4	101	213	0,100	2,928	0,929	2,447

Представление о семействе астероидов Апофиса дает Рис. 1, на котором представлены проекции орбит 33 астероидов семейства, включая Апофис, на плоскость эклиптики (то есть на плоскость орбиты Земли). Единица масштаба 1 *a.e.*



**Рисунок 1** *Проекция орбит на плоскость эклиптики*

Полагалось, что долготы перигелиев для всех орбит  $\pi = 0$ . Таким образом, выполнен качественный учет дисперсии долгот перигелиев, возникшей из-за действия планетных возмущений.

Рис. 1, возможно, свидетельствует в пользу реальности существования семейства астероидов Апофиса.

### **Список литературы:**

1. Бабаджанов П.Б., Кохирова Г.И., Обрубов Ю.В. Астероид Апофис и связанные с ним болиды // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. — 2012. — Т. 55, — №. 7. — С. 555—560.
2. Лидов М.Л. Эволюция орбит искусственных спутников планет под действием гравитационных возмущений // Искусственные спутники земли. 1961. Вып. 8. — С. 5—45.
3. Лидов М.Л., Ярская М.В. Интегрируемые случаи в задаче об эволюции орбиты спутника при совместном влиянии внешнего тела и нецентральнойности поля планеты // Косм. иссл. — 1974. — Т. 12. — № 2. — С. 155—170.
4. Нароенков С.А. Исследование пар околоземных астероидов // Вестник Сибирского Гос. Аэрокосм. Ун-та, 2011, — с. 61—66.
5. Обрубов Ю.В. Комплексы малых тел в солнечной системе // Астрон Ж. — 1991. — Т. 68. — С. 1063—1073.
6. Симоненко А.Н. Астероиды, или тернистые пути исследований. М., Наука, 1985. — 208 С.
7. APO orbital elements. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: // [http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo\\_elem](http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem) (дата обращения 13.09.2013).
8. Asteroid Apophis. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://asteroidapophis.com> (дата обращения 11.11.2012).

9. ATE orbital elements [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: // [http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo\\_elem](http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem) (дата обращения 13.09.2013).
10. Chesley S.R. Asteroids, Comets, Meteors // Proc. of the IAU Symp. 229, Cambridge Univ. Press, 2006, — P. 215—228.
11. Drummond J.D. A test of comet and meteor shower associations // Icarus, — 1981, — № 45, — p. 545—553.
12. Fu H., Jedicke R., Durda D. Identifying near-Earth objects families // Icarus, — 2005, — Vol. 178, — Iss. 2. — P. 434—449.
13. Hirayama K., Families of Asteroids. Jap. J. Astron. Geophys. — 1923. — V. 5 — P. 137—162.
14. Jopek T.J., Valsecchi G.B., Froeschle C. Asteroid Meteoroid streams // in Asteroids III, William Bottke, Alberto Cellino, Paolo Paolicchi, and Richard P. Binzel (eds.) University of Arizona Press. 2002. PP. 645—652 [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [http:// www.lpi.usra.edu\\_books\\_AsteroidsIII\\_pdf\\_3017](http://www.lpi.usra.edu/books_AsteroidsIII_pdf_3017)
15. Kozai H. Short-period comets and Apollo-Amor-Aten type asteroids in view of Tisserand invariant // Celestial Mech. And Dynam. Astron. — 1992. — Vol. 54. — P. 237—240.
16. Lindblad B.A., Southworth R.B. A study of asteroids families and streams by computer techniques. // in Phys. studies of minor planets. T. Gehrels (ed.) NASA SP-267. 1971. — P. 337—352.
17. Orbital classes, collision rates with Earth, and origin / Shoemaker E.M., Williams J.G., Hellin E.F., Wolfe R.F. // in Asteroids, T.Gehrels (ed.), Univ of Arizona Press, 1979, — p. 253—282.
18. Southworth R.B. & Hawkins G.S. Statistics of meteor streams // Smith. Contrib. Astrophys., — 1963, — Vol. 7, — P. 261—285.
19. Zappala V., Cellino A. Asteroid families: recent results and present scenario// Celestial Mech. and Dynam. Astron. — 1992. — Vol. 54. — P. 207—227.

### **3.3. МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

#### **УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ ТРУБЫ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА, НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ**

*Никитин Андрей Витальевич*

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

#### **ELASTOPLASTIC STATE OF A NONHOMOGENEOUS PIPE MADE OF ANISOTROPIC MATERIAL UNDER INFLUENCE OF INNER PRESSURE**

*Andrey Nikitin*

*post graduate student of the chair of Mathematical Analysis,  
Chuvash State Pedagogical University named after I.Y. Yakovlev,  
Russia, Cheboksary*

#### **АННОТАЦИЯ**

В данной работе рассматривается упругопластическое состояние трубы из анизотропного материала, находящейся под действием внутреннего давления. Материал предполагается неоднородным. Решение производится методом малого параметра. Определены напряжённое состояние и граница раздела упругой и пластической областей в нулевом и первом приближении.

#### **ABSTRACT**

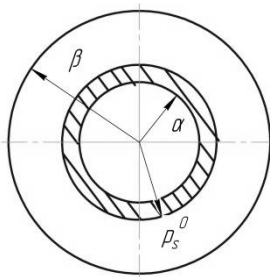
The paper examines an elastoplastic state of a pipe made of anisotropic material, which is under the influence of inner pressure. Material is supposed to be nonhomogeneous. The solution has been made by small parameter

method. State of stress and interface of elastic and plastic domains at null and initial approximation have been defined.

**Ключевые слова:** труба; неоднородность; анизотропия.

**Keywords:** pipe; nonhomogeneity; anisotropy.

В данной работе рассматривается развитие идей [3, 4, 5, 6, 7], а именно наложение трансляционной анизотропии на неоднородность материала.



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

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

Рассмотрим толстостенную трубу радиусов  $\alpha, \beta$ ,  $\alpha < \beta$  (рис. 1). Условие пластичности примем в виде [1]:

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

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

Положим:

$$k_{xy} = k_0 + \delta(\bar{a}x + \bar{b}y), \quad k_0, \bar{a}, \bar{b} - const, \quad (2)$$

где:  $\delta$  — малый безразмерный параметр.

Используя связь между компонентами напряжений в декартовой системе координат  $x, y$  и компонентами напряжений в полярной системе координат  $\rho, \theta$ , из (1) и (2) получим:

$$\left( \frac{\sigma_{\rho}^P - \sigma_{\theta}^P}{2} \right)^2 + \left( \tau_{\rho\theta}^P \right)^2 - 2R \left( \frac{\sigma_{\rho}^P - \sigma_{\theta}^P}{2} \right) \cos(2\theta + \mu) - 2\tau_{\rho\theta}^P \sin(2\theta + \mu) + R^2 - 1 - 2\rho\delta R_0 \sin(\theta + \eta) = 0, \quad (3)$$

где

$$R = \sqrt{\left( \frac{k_1 - k_2}{2} \right)^2 + k_3^2}, \quad \frac{k_1 - k_2}{2R} = \cos \mu, \quad \frac{k_3}{2} = \sin \mu, \\ R_0 = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad \frac{a}{2\sqrt{a^2 + b^2}} = \cos \eta, \quad \frac{b}{2\sqrt{a^2 + b^2}} = \sin \eta.$$

Предположим

$$k_1 = \delta k'_1, \quad k_2 = \delta k'_2, \quad k_3 = \delta k'_3. \quad (4)$$

Тогда  $R = \delta R'$ , где  $R' = \sqrt{\left( \frac{k'_1 - k'_2}{2} \right)^2 + k'^2_3}$ .

Положим, что искомое решение зависит от малого параметра  $\delta$ , решение будем искать в виде

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^{(0)} + \sigma'_{ij}\delta + \sigma''_{ij}\delta^2 + \dots, \quad \rho_s = \rho_s^{(0)} + \rho'_s\delta + \rho''_s\delta^2 + \dots, \quad (5)$$

где:  $\rho_s$  — радиус пластической зоны.

В нулевом приближении напряжённое состояние в упругой и пластической областях имеет вид:

$$\sigma_{\rho}^{(0)p} = -p + 2 \ln \frac{\rho}{\alpha}, \quad \sigma_{\theta}^{(0)p} = -p + 2 + 2 \ln \frac{\rho}{\alpha}. \quad (6)$$

$$\sigma_{\rho}^{(0)e} = \frac{p + 2 \ln \alpha}{\beta^2 - 1} \left( 1 - \frac{\beta^2}{\rho^2} \right), \quad \sigma_{\theta}^{(0)e} = \frac{p + 2 \ln \alpha}{\beta^2 - 1} \left( 1 + \frac{\beta^2}{\rho^2} \right) \quad (7)$$

Радиус упругопластической зоны в нулевом приближении определяется соотношениями:

$$\beta^2 = \frac{1}{1 - 2 \ln \alpha - p}.$$

В первом приближении получим:

$$\sigma'_{\theta}{}^p - \sigma'_{\rho}{}^p = -2(R' \cos(2\theta + \mu)) + 2(a\rho \cos \theta + b\rho \sin \theta). \quad (8)$$

Удовлетворим уравнения равновесия, полагая:

$$\sigma'_{\rho}{}^p = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial \rho} + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2}, \quad \sigma'_{\theta}{}^p = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \rho^2}, \quad \tau'_{\rho\theta}{}^p = -\frac{\partial}{\partial \rho} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right) \quad (9)$$

Из (8), (9) имеет место:

$$\begin{aligned} \rho^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \rho^2} - \rho \frac{\partial \Phi}{\partial \rho} - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2} &= \\ &= -2R' \rho^2 \cos(2\theta + \mu) + 2\rho^3 (a \cos \theta + b \sin \theta). \end{aligned} \quad (10)$$

В первом приближении граничные условия согласно [2] имеют вид:

$$\begin{aligned} \sigma'_{\rho}{}^p \Big|_{\rho=\alpha} &= 0, \\ \tau'_{\rho\theta}{}^p \Big|_{\rho=\alpha} &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$



Решение в пластической зоне будет определяться из (8), (9), (10), (11):

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\rho}^{\prime p} &= -R' \left( \frac{\alpha}{\rho} \left( \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) + \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \right) - 1 \right) \cos(2\theta + \mu) + \\
 &\quad + (a \cos \theta + b \sin \theta) \left( -\frac{\alpha^2}{\rho} + \rho \right), \\
 \sigma_{\theta}^{\prime p} &= -R' \left( \frac{\alpha}{\rho} \left( \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) + \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \right) + 1 \right) \cos(2\theta + \mu) + \\
 &\quad + (a \cos \theta + b \sin \theta) \left( -\frac{\alpha^2}{\rho} + 3\rho \right), \\
 \tau_{\rho\theta}^{\prime p} &= R' \left( \frac{\alpha}{\rho} \left( \cos \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) - \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \frac{\rho}{\alpha} \right) \right) - 1 \right) \sin(2\theta + \mu) + \\
 &\quad + (-b \cos \theta + a \sin \theta) \left( -\frac{\alpha^2}{\rho} + \rho \right).
 \end{aligned} \tag{12}$$

Напряжения в упругой области определим согласно [2]:

$$\begin{aligned}
 \sigma_p^e &= \frac{\alpha^2 - 1}{\beta^4 - 1} \left( \rho - \frac{\beta^4}{\rho^3} \right) (a \cos \theta + b \sin \theta) + \\
 &\quad + \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N} (\beta^4 \rho^4 + 2\beta^6 \rho^4 - \rho^4 - 3\beta^4 + \\
 &\quad + 2\beta^6 + \beta^8 - 2\beta^4 \rho^2 + 4\beta^2 \rho^2 - 2\beta^8 \rho^2) \cdot \\
 &\quad \cdot R' \left[ \alpha \left( \cos \left( \sqrt{3} \ln \alpha \right) - \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \alpha \right) \right) - 1 \right] \cos(2\theta + \mu) + \\
 &\quad + \frac{1}{\rho^4 N} (2\beta^2 \rho^4 - 2\rho^4 + 2\beta^4 - 2\beta^2 + 2\rho^2 - 2\beta^4 \rho^2) \cdot \\
 &\quad \cdot R' \left[ \alpha \left( \cos \left( \sqrt{3} \ln \alpha \right) + \sqrt{3} \sin \left( \sqrt{3} \ln \alpha \right) \right) - 1 \right] \cos(2\theta + \mu),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma'_{\theta}{}^e &= \frac{\alpha^2 - 1}{\beta^4 - 1} \left( \rho + \frac{\beta^4}{\rho^3} \right) (a \cos \theta + b \sin \theta) + \\
&+ \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N} (\beta^4 \rho^4 - 2\beta^6 \rho^4 + \rho^4 + 3\beta^4 - 2\beta^6 - \beta^8 + 6\beta^4 \rho^6 - 4\beta^2 \rho^6 - 2\rho^6) \cdot \\
&\cdot R' \left[ \alpha \left( \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) - \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) - 1 \right] \cos(2\theta + \mu) + \\
&+ \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N} (2\beta^4 \rho^4 - 2\beta^6 \rho^4 + 2\beta^8 - 2\beta^6 + 3\rho^6 \beta^4 - 4\beta^2 \rho^6 + \rho^6) \cdot \\
&\cdot R' \left[ \alpha \left( \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) - 1 \right] \cos(2\theta + \mu),
\end{aligned} \tag{13}$$

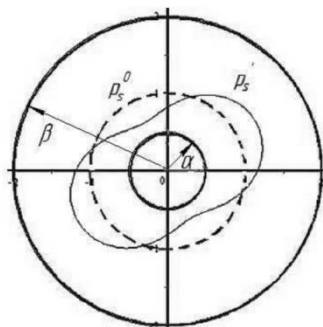
$$\begin{aligned}
\tau'_{\rho\theta}{}^e &= \frac{\alpha^2 - 1}{\beta^4 - 1} \left( \rho - \frac{\beta^4}{\rho^3} \right) (-b \cos \theta + a \sin \theta) + \\
&+ \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N} (\beta^4 \rho^4 - 2\beta^6 \rho^4 + \rho^4 - 3\beta^4 + 2\beta^6 + \\
&+ \beta^8 + 3\beta^4 \rho^6 - 2\beta^2 \rho^6 - \rho^6 - \beta^4 \rho^2 + 2\beta^2 \rho^2 - \beta^8 \rho^2) \cdot \\
&\cdot R' \left[ \alpha \left( \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) - \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) - 1 \right] \sin(2\theta + \mu) + \\
&+ \frac{1}{\beta^4 \rho^4 N} (2\beta^4 \rho^4 - 2\beta^6 \rho^4 - 2\beta^8 + 2\beta^6 + \\
&+ 3\rho^6 \beta^4 - 4\beta^2 \rho^6 + \rho^6 + \beta^4 \rho^2 - \beta^8 \rho^2) \cdot \\
&\cdot R' \left[ \alpha \left( \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) - 1 \right] \sin(2\theta + \mu).
\end{aligned}$$

Из (12),(13) получим границу упругопластической области в первом приближении:

$$\begin{aligned}
\rho'_s &= \frac{1}{4} (\sigma'_{\theta}{}^e - \sigma'_{\theta}{}^p) = \frac{1}{4} (a \cos \theta + b \sin \theta) \left( \left( \frac{\alpha^2 - 1}{\beta^4 - 1} \right) (1 + \beta^4) - (3 - \alpha^2) \right) + \\
&+ \frac{1}{4\beta^4 \rho^4 N} (2\beta^4 \rho^4 - 2\beta^6 \rho^4 + 2\rho^8 - 2\beta^6 - 6\beta^4 \rho^6 - 8\beta^2 \rho^6 + 2\rho^6) \cdot \\
&\cdot R' \left[ \alpha \left( \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) + \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) - 1 \right] \cos(2\theta + \mu) +
\end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
& + \left( \frac{1}{4\beta^4 \rho^4 N} (\beta^4 \rho^4 - 2\beta^6 \rho^4 + \rho^4 + 3\beta^4 - \right. \\
& \quad \left. - 2\beta^6 - \beta^8 + 6\beta^4 \rho^6 - 4\beta^2 \rho^6 - 2\rho^6) + 1 \right) \cdot \\
& \cdot R' \left[ \alpha \left( \cos(\sqrt{3} \ln \alpha) - \sqrt{3} \sin(\sqrt{3} \ln \alpha) \right) \right] \cos(2\theta + \mu) - \\
& - \left( \frac{1}{4\beta^4 \rho^4 N} (\beta^4 \rho^4 - 2\beta^6 \rho^4 + \rho^4 + 3\beta^4 - \right. \\
& \quad \left. - 2\beta^6 - \beta^8 + 6\beta^4 \rho^6 - 4\beta^2 \rho^6 - 2\rho^6) - 1 \right) \cdot \\
& \quad \cdot R' \cos(2\theta + \mu).
\end{aligned}$$

Таким образом, напряженное состояние в пластической (12) и упругой (13) зонах полностью определено. Изменение границы пластической зоны определяется из соотношений (14).



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

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

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

### Список литературы:

1. Ивлев Д.Д. О соотношениях теории трансляционной идеально-пластической анизотропии при обобщении условия пластичности Мизеса / Д.Д. Ивлев, Л.А. Максимова // Вестник Чуваш. гос. пед. ун-та им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2010. — № 2(8). — Ч. 3. — С. 583—584.
2. Ивлев Д.Д. Метод возмущений в теории упругопластического тела / Д.Д. Ивлев, Л.В. Ершов. М.: Наука, 1978. — 208 с.
3. Максимова Л.А., Тихонов С.В. Об упругопластическом состоянии неоднородной трубы, находящейся под действием внутреннего давления/ Л.А. Максимова, С.В. Тихонов// Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2007. — № 2. — С. 91—95 .
4. Митрофанова Т.В. Об условиях трансляционной анизотропии идеально-пластических тел при кручении / Т.В. Митрофанова // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2010. — № 2 (8). — Ч. 3. — С. 596—600.
5. Тихонов С.В. Упругопластическое состояние неоднородных тел, ослабленных отверстиями: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.02.04 / С.В. Тихонов. Чебоксары, 2007. — 75 с.
6. Фоминых С.О. Упругоидеальнопластическое состояние анизотропной трубы / Фоминых С.О. // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2010. — № 2(8). — Ч. 3. — С. 623—627.
7. Фоминых С.О. Упругопластическое состояние толстостенной трубы при взаимодействии различных видов пластической анизотропии / Фоминых С.О. // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. — 2011. — № 1(9). — С. 201—216.

### 3.4. ОПТИКА

#### РАСЧЕТ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОТРОПНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ В ОДНОРОДНОЙ БЕЗГРАНИЧНОЙ СРЕДЕ

***Шевченко Светлана Сергеевна***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
филиал Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [sveta-shev@yandex.ru](mailto:sveta-shev@yandex.ru)*

***Костин Иван Владимирович***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
филиал Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [ivk20062006@yandex.ru](mailto:ivk20062006@yandex.ru)*

***Нилова Людмила Ивановна***

*заведующий кафедрой физики,  
филиал Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [samurasam@rambler.ru](mailto:samurasam@rambler.ru)*

***Андреева Наталья Владимировна***

*доцент кафедры физики,  
филиал Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [samurasam@rambler.ru](mailto:samurasam@rambler.ru)*

# ISOTROPIC RADIATOR PHYSICAL CHARACTERISTICS CALCULATION IN HOMOGENEOUS UNBOUNDED MEDIUM

*Svetlana Shevchenko*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor of  
branch of Military Diplomatic Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

*Ivan Kostin*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of branch of Military Diplomatic Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

*Lyudmila Nilova*

*head of the chair of Physics of branch of Military Diplomatic Academy  
of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

*Natalia Andreeva*

*associate professor of the chair of Physics of branch of Military Diplomatic  
Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

## АННОТАЦИЯ

Рассчитываются некоторые физические характеристики и параметры изотропного оптического излучателя в однородной безграничной диэлектрической и проводящей средах, в частности амплитуда напряженности электрического поля направленной антенны. Исследована зависимость диэлектрической проницаемости от частоты колебания внешнего поля. Рассчитана глубина проникновения волны в среду.

## ABSTRACT

There are calculated some physical characteristics and parameters of an isotropic optical radiator in homogeneous unbounded dielectric and conducting mediums, namely the amplitude of electric field intensity of a guided antenna. The dependence of capacitivy from vibration frequency of external field has been studied. The depth of wave penetration into medium has been calculated.

**Ключевые слова:** однородная безграничная среда, изотропный излучатель, антенна, свободное пространство, мощность излучения.

**Keywords:** homogeneous unbounded medium; isotropic radiator; antenna; free space; radiated power.

Однородная безграничная среда может представлять собой свободное пространство, диэлектрическую среду, среду с проводимостью, а также среду со свободными зарядами.

Свободное пространство представляет собой безграничную среду, у которой диэлектрическая и магнитная проницаемость равны единице, удельная проводимость равна нулю, поглощение в среде отсутствует. Реально таких сред не существует, однако, выражения, описывающие условия распространения электромагнитных волн, являются фундаментальными. Распространение электромагнитных волн в более сложных случаях характеризуется теми же выражениями с внесением в них определенных поправок.

Пусть источником электромагнитных волн является изотропный излучатель, т. е. антенна, излучающая одинаково во всех направлениях. Реальные антенны излучают не изотропно, но направленность реальных антенн можно учесть с помощью так называемого коэффициента направленного действия (КНД)  $D$ . Под КНД антенны понимается число, представляющее отношение квадрата модуля напряженности электрического поля, создаваемого антенной в направлении максимального излучения, к среднему (по всем направлениям) значению квадрата напряженности этого поля

$$D = \frac{|E_{max}|^2}{E_{cp}^2}. \quad (1)$$

Например, элементарный диполь — это слабо направленная антенна с КНД 1,5. Как известно, характеристикой движения энергии

в волне является вектор Пойнтинга  $|\vec{S}| = EH$ ,

где  $E = E_m \cos(\omega t - ky)$ ,  $H = H_m \cos(\omega t - ky)$ .

Среднее значение этого вектора

$$S_{cp} = \frac{1}{2} E_m H_m. \quad (2)$$

На расстоянии  $r$  от излучателя мощность излучения равна

$$P = \frac{1}{2} E_m H_m \cdot 4\pi r^2 = 2\pi E_m H_m r^2. \quad (3)$$

Учитывая, что в электромагнитной волне в любой момент времени плотности энергии электрического и магнитного полей равны

$$\frac{\varepsilon_0 E_m^2}{2} = \frac{\mu_0 H_m^2}{2},$$

найдем связь между амплитудными значениями  $E_m$  и  $H_m$ :

$$E_m = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} H_m. \quad (4)$$

Подставив в (4) значения электрической и магнитной постоянных, получим  $Z_m = \frac{E_m}{H_m} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi$  — волновое сопротивление свободного пространства.

Тогда

$$E_m = 120\pi H_m. \quad (5)$$

Выразим из (5) значение  $H_m$ , подставим его в (2)

$$S_{cp} = \frac{E_m^2}{240\pi}, \quad (6)$$

или, из (3) получим

$$P = \frac{E_m^2}{60} r^2, \quad (7)$$



Откуда

$$E_m = \frac{\sqrt{60P}}{r}. \quad (8)$$

С учетом КНД получаем, что амплитуда напряженности электрического поля направленной антенны равна

$$E_m = \frac{\sqrt{60PD}}{r}. \quad (9)$$

Выражение (9) справедливо для антенн любого типа, если поставить в него соответствующее значение коэффициента направленного действия  $D$ .

Примером свободного пространства может быть космическое пространство в пределах Солнечной системы. Концентрация частиц на таких расстояниях ( $n = 1 - 3 \text{ см}^{-3}$ ) не изменяет существенно его свойства. В то же время межзвездное пространство, имеющее концентрацию атомов и молекул на порядок меньше, не может оставаться свободным ввиду больших расстояний, которые проходят электромагнитные волны и, следовательно, взаимодействуют с большим количеством вещества.

I. Пусть электромагнитные волны распространяются в безграничной среде, характеризуемой  $\epsilon$ ,  $\mu$  и  $\sigma$ . Связь этих характеристик дается соотношениями:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon \vec{E}; \quad \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}; \quad \vec{j}_{\text{пр}} = \sigma \vec{E}. \quad (10)$$

Запишем уравнения Максвелла в дифференциальной форме

$$\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (11)$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j}_{\text{пр}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \quad (12)$$

Уравнения электромагнитной волны для компонент  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  запишутся

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_m \cos(\omega t - ky), \\ \vec{H} &= \vec{H}_m \cos(\omega t - ky).\end{aligned}\quad (13)$$

В комплексной форме (13) выглядят следующим образом:

$$\vec{E} = \vec{E}_m e^{i(\omega t - ky)} = \vec{E}_m e^{-iky} \cdot e^{i\omega t} = \dot{\vec{E}}_m e^{i\omega t},$$

где:  $\dot{\vec{E}}_m = \vec{E}_m e^{-iky}$  — комплексная амплитуда колебаний вектора  $\vec{E}$  в электромагнитной волне.

Аналогично, для вектора  $\vec{H}$

$$\vec{H} = \vec{H}_m e^{i(\omega t - ky)} = \vec{H}_m e^{-iky} \cdot e^{i\omega t} = \dot{\vec{H}}_m e^{i\omega t},$$

где:  $\dot{\vec{H}}_m$  — комплексная амплитуда колебаний вектора  $\vec{H}$  в электромагнитной волне.

Плотность тока проводимости по закону Ома равна  $\vec{j}_{\text{пр}} = \sigma \vec{E}$ . С учетом вышеизложенного уравнения (11) будет

$$\text{rot} \vec{E} = -\mu_0 \mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\mu_0 \mu i \omega \vec{H}. \quad (14)$$

Аналогично, уравнение (12)

$$\text{rot} \vec{H} = -\varepsilon_0 \varepsilon i \omega \vec{E} + \sigma \vec{E} = (\varepsilon_0 \varepsilon i \omega + \sigma) \vec{E}. \quad (15)$$

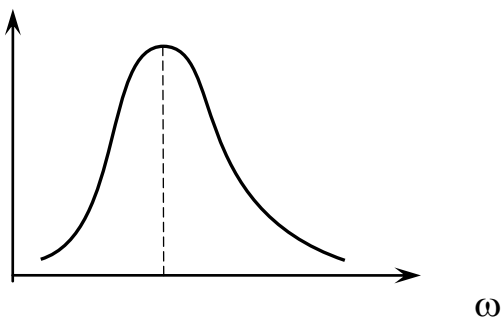
Таким образом, в правой части (15) находится вектор, состоящий из двух частей. Для того чтобы записать (15) формально аналогично (14), введем так называемую комплексную диэлектрическую проницаемость.

$$(i\omega\varepsilon_0\varepsilon + \sigma)\vec{E} = i\omega\vec{E}\left(\varepsilon_0\varepsilon + \frac{\sigma}{i\omega}\right) = i\omega\vec{E}\left(\varepsilon_0\varepsilon - \frac{i\sigma}{\omega}\right) = i\omega\varepsilon'\vec{E}, \quad (16)$$

$$\varepsilon' = \varepsilon_0\varepsilon - \frac{i\sigma}{\omega}, \quad (17)$$

где:  $\varepsilon'$  — комплексная диэлектрическая проницаемость среды.

Если  $\sigma = 0$ , то  $\varepsilon' = \varepsilon_0\varepsilon$ , т. е. среда является чисто диэлектрической. При прохождении электромагнитной волны через диэлектрик происходит взаимодействие электрической и магнитной компонент  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  с электронами, входящими в состав молекул (атомов) вещества. Такие электроны начинают колебаться с частотой вынуждающей силы, т. е. с частотой  $\omega$  электромагнитного поля.



**Рисунок 1. Зависимость амплитуды колебаний от частоты электромагнитного поля**

Амплитуда колебаний зависит от соотношения между  $\omega$  и  $\omega_0$ , где  $\omega_0$  — собственная частота электронного осциллятора (рис. 1). В результате диэлектрическая проницаемость среды становится функцией частоты  $\omega$ . Поскольку, согласно теории Максвелла

$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$ , то это означает, что и  $n = \sqrt{\epsilon\mu}$  тоже зависит от частоты

колебаний внешнего электромагнитного поля  $\Omega$ . Показатель преломления данной волны оказывается зависящим от частоты падающего света, и длина волны в среде

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{v}{\gamma} = \frac{c}{\gamma n} = \frac{\lambda_0}{n}, \quad (18)$$

где:  $\lambda_0$  — длина волны в вакууме.

С ростом частоты колебаний внешнего поля  $\Omega$  диэлектрическая проницаемость уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением  $\Omega$  молекулярные диполи, например, полярные молекулы воды, не успевают ориентироваться в направлении электрического поля. Отметим, что при распространении электромагнитных волн разница между диспергирующими средами и средами без дисперсии имеет смысл лишь в отношении монохроматических волн ( $\lambda \neq \text{const}$ ).

Распространение волны в диэлектрике описывается уравнением

$$\vec{E} = \vec{E}_m e^{i(\omega t - ky)} = \vec{E}_m e^{-iky} \cdot e^{i\omega t} \quad (19)$$

Для диэлектрика волновое число  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon}$ .

Тогда комплексную амплитуду напряженности электрического поля можно представить

$$\dot{\vec{E}}_m = \vec{E}_m e^{-i\frac{\omega}{c}\sqrt{\epsilon}y}, \quad (20)$$

где:  $y$  — расстояние, пройденное волной в данной среде.

II. Пусть волна распространяется в проводящей среде.

Рассмотрим, как меняется уравнение плоской волны в среде с потерями, где  $\sigma \neq 0$ . Введение комплексной диэлектрической проницаемости среды (17), позволяет получить выводы, относящиеся к распространению волн в проводящей среде из соответствующих

формул для диэлектрика путем замены в них вещественной диэлектрической проницаемости среды  $\epsilon_0\epsilon$  на комплексное значение диэлектрической проницаемости  $\epsilon' = \epsilon_0\epsilon - \frac{i\sigma}{\omega}$ . При этом квадрат постоянной распространения (волнового числа) вместо  $k$  запишем  $k'$ :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} = \omega\sqrt{\epsilon_0\epsilon}\sqrt{\mu_0\mu},$$

$$k'^2 = \omega^2\mu_0\mu\epsilon' = \omega^2\mu_0\mu\left(\epsilon_0\epsilon - \frac{i\sigma}{\omega}\right) = \omega^2\epsilon_0\epsilon\mu_0\mu - i\sigma\omega\mu_0\mu. \quad (21)$$

Постоянная распространения

$$k' = \sqrt{\epsilon_0\mu_0\epsilon\mu\omega^2 - i\sigma\omega\mu_0\mu}. \quad (22)$$

Так как корень квадратный из комплексного числа напрямую не вычисляется, сделаем следующие преобразования.

Запишем

$$k' = k - is. \quad (23)$$

Здесь  $k$  — действительная часть постоянной распространения,  $s$  — мнимая часть.

Уравнение (23) возводим в квадрат и приравняем к значению  $k'^2$  из (21):

$$k'^2 = k^2 - 2kis + i^2s^2 = k^2 - 2kis - s^2 - s^2 +$$

$$+k^2 - 2ksi = \omega^2\epsilon_0\epsilon\mu_0\mu - i\sigma\omega\mu_0\mu \quad (24)$$

Приравнивая действительные и мнимые части (24), находим

$$\begin{cases} k^2 - s^2 = \omega^2\epsilon_0\epsilon\mu_0\mu = a & (25) \\ 2ks = \sigma\omega\mu_0\mu = b & (26) \end{cases}$$

Введя обозначения  $a$  и  $b$ , решаем систему относительно  $S^2$  и  $k^2$ .

Из (25) находим  $k$ :  $k = \pm\sqrt{s^2 + a}$ , и подставляем в (26)

$$\pm 2s\sqrt{s^2 + a} = b.$$

Возведем в квадрат обе части:

$$4s^2(a + s^2) = b^2; \quad 4s^4 + 4s^2a - b^2 = 0. \quad (27)$$

Получили биквадратное уравнение; вводим новую переменную  $x = s^2$ ;  $x^2 = s^4$ . Тогда  $4x^2 + 4ax - b^2 = 0$ ,

$$x^2 + ax - \frac{b^2}{4} = 0.$$

Решаем полученное уравнение:

$$\begin{aligned} x = s^2 &= -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{b^2}{4}} = -\frac{a}{2} \pm \frac{a}{2} \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} = \frac{a}{2} \left( -1 \pm \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} \right) = \\ &= \frac{a}{2} \left( \pm \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} - 1 \right) = \frac{a}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} - 1 \right). \end{aligned} \quad (28)$$

( $S^2$  не может быть отрицательным).

Подставляя (28) в (25) в итоге имеем

$$k^2 = s^2 + a = \frac{a}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} + 1 \right). \quad (29)$$

Найдем  $\frac{b}{a} = \frac{\sigma\omega\mu_0\mu}{\omega^2\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon\omega}$ .

Тогда

$$\frac{b^2}{a^2} = \left( \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon\omega} \right)^2, \quad (30)$$

$$s^2 = \frac{a}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} - 1 \right) = \frac{\omega^2\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu}{2} \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon\omega} \right)^2} - 1 \right), \quad (31)$$

$$k^2 = \frac{a}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{b^2}{a^2}} + 1 \right) = \frac{\omega^2\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu}{2} \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon\omega} \right)^2} + 1 \right). \quad (32)$$

С учетом полученных выражений, запишем решение волнового уравнения для плоской одномерной волны, распространяющейся в проводящей среде в направлении оси  $oy$ .  $\mathbf{k}'$  представим в виде (23):

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \mathbf{E}_m e^{i(\omega t - ky)} = \mathbf{E}_m e^{i\omega t} \cdot e^{-ik'y} = \mathbf{E}_m e^{i\omega t} \cdot e^{-i(k-is)y} = \\ &= \mathbf{E}_m e^{i\omega t} \cdot e^{-iky} \cdot e^{i^2sy} = \mathbf{E}_m e^{i(\omega t - ky)} \cdot e^{-sy}. \end{aligned} \quad (33)$$

Экспонента  $e^{-sy}$  говорит об уменьшении амплитуды  $\mathbf{E}_m$  при распространении волны в среде. На пути  $\delta = \frac{1}{s}$ ,  $e^{-s\frac{1}{s}} = \frac{1}{e}$  — амплитуда волны затухает в  $e$  раз. Эта величина определяет глубину проникновения волны в проводящую среду.

Найдем  $s$  из (31)

$$s = \sqrt{\frac{\omega^2\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu}{2} \left( \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon\omega} \right)^2} - 1 \right)}. \quad (34)$$

Для всех разумных значений частот  $\Omega$  и проводимостей  $\sigma$  отношение  $\frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon \Omega} \gg 1$ .

Например, для морской воды  $\sigma \approx 4 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ ,  $\varepsilon = 80$ ,  $\lambda = 10^4 \text{ м}$ ,  $\omega = \frac{2\pi c}{\sqrt{\varepsilon} \lambda} \approx 2 \cdot 10^4$ ; тогда  $\frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon \omega} = 2 \cdot 10^5 \gg 1$ .

Пренебрегая единицами в (34), получаем

$$s = \sqrt{\frac{\omega^2 \varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}{2} \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon \omega}} = \sqrt{\frac{\omega \mu_0 \mu \sigma}{2}}. \quad (35)$$

Глубина проникновения, на которой амплитуда волны уменьшается в  $e$  раз, равна

$$\delta = \frac{1}{s} = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu_0 \mu}}. \quad (36)$$

Таким образом, волна, попав в проводящую среду, частично или полностью поглощается и характеризует поглощение мнимая часть  $s$  комплексного коэффициента распространения  $k'$ , связанная с удельной проводимостью.

Глубина проникновения волны в проводящую среду зависит от частоты волны и проводимости среды. Например, глубина проникновения световых волн в металл имеет порядок  $10^{-9} \text{ м}$ . Энергия волны переходит в джоуль–ленцево тепло. В средах с достаточной проводимостью для целей радиосвязи следует использовать радиоволны с большей длиной волны. Например, связь с подводными лодками, находящимися в морской воде, осуществляется на длинах волн  $\lambda \approx 10^4 \text{ м}$ , если удельная проводимость морской воды  $\sigma \approx 4 \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$ , то из (36) следует, что  $\delta \approx 10 \text{ м}$ .



### **Список литературы:**

1. Грудинская Г.П. Распространение радиоволн: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1975.
2. Марков Г.Т., Петров Б.В., Грудинская Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн: Учеб. пособие для вузов. М.: Сов. радио, 1969.
3. Татур Т.А Основы теории электромагнитного поля. М.: Высшая школа, 1989.

### **3.5. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

#### **ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ НА БАЗЕ МОДУЛЯ ЦАП-АЦП ZET 210**

***Костин Иван Владимирович***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
филиал Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [ivk20062006@yandex.ru](mailto:ivk20062006@yandex.ru)*

***Нилова Людмила Ивановна***

*заведующий кафедрой физики,  
филиал Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [samurasam@rambler.ru](mailto:samurasam@rambler.ru)*

***Шевченко Светлана Сергеевна***

*канд. физ.-мат. наук, доцент,  
филиал Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [sveta-shev@yandex.ru](mailto:sveta-shev@yandex.ru)*

## **PRACTICAL PHYSICS BASED ON ADC-DAC ZET 210 MODULE**

***Ivan Kostin***

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of branch of Military Diplomatic Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

***Lyudmila Nilova***

*head of the chair of Physics of branch of Military Diplomatic Academy  
of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

***Svetlana Shevchenko***

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of branch of Military Diplomatic Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

### **АННОТАЦИЯ**

Для ознакомления обучающихся с современной измерительной техникой и для подготовки квалифицированных инженеров и исследователей в области естественных наук необходимо постоянно совершенствовать физический практикум в вузах. Один из путей такого совершенствования — внедрение в физический практикум новых информационных технологий. Авторы статьи используют на лабораторных занятиях по физике модули аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования, сопряженные с ЭВМ. Как показывает опыт проведения занятий, физический практикум на базе модулей АЦП-ЦАП обладает рядом несомненных преимуществ.

### **ABSTRACT**

For the sake of students' getting to know with modern measurement technique and for skilled engineers and researchers of natural sciences preparation it is necessary to constantly improve practical physics in higher educational institutions. One of such possible improvements is the implementation of new information technologies into practical physics. The author of the article uses modules of computer-augmented analog-to-digital and digital-to-analog conversions at practical physics lessons. As teaching experience shows that a practical physics based on ADC-DAC modules has a number of undisputed advantages.

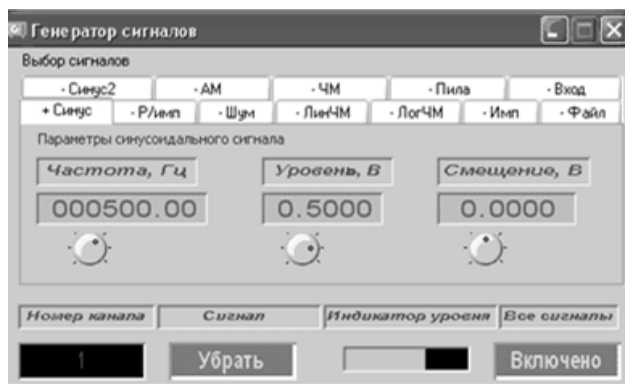
**Ключевые слова:** физический практикум; аналого-цифровой преобразователь; цифро-аналоговый преобразователь; программное обеспечение ZETLab.

**Keywords:** practical physics; analog-to-digital converter; digital-to-analog converter; ZETLab software.

Эффективность обучения физике тесно связано с совершенствованием материально-технической базы этой дисциплины. Физический практикум — наиболее значимый и результативный компонент естественнонаучной подготовки специалиста в области техники и технологий. При формировании у обучающихся умений экспериментально-исследовательской деятельности на физическом практикуме целесообразно использовать современное оборудование, сопрягаемое с ЭВМ.

На лабораторных занятиях по физике преподаватели нашей кафедры используются модули ZET 210 “Sigma USB”, подключаемые к ЭВМ. Данные модули, выпускаемые ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы» [1], представляют собой приборы аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования. Каждый модуль имеет 16 синфазных / 8 дифференциальных аналоговых входов (АЦП) с суммарной частотой преобразования до 500 кГц, рассчитанных на максимальное входное напряжение  $\pm 7$  В, и 2 синфазных аналоговых выхода (ЦАП) с максимальным выходным напряжением  $\pm 2,5$  В, что безопасно для обучающихся. Подключение модуля ZET 210 к ЭВМ и питание модуля осуществляется по шине HighSpeed USB 2.0.

Базовое программное обеспечение ZETLab поставляется вместе с модулями ZET 210. В него входят программы генерации, анализа, измерения и отображения сигналов, а также программы настройки и конфигурирования измерительных трактов. Программа «Генератор сигналов» (рис. 1) предназначена для формирования сигналов различной формы, амплитуды и частоты на аналоговых выходах модуля ZET 210 и заменяет стационарные генераторы, используемые в физическом практикуме. В программе предусмотрена возможность одновременного включения нескольких видов сигнала, например двух синусоидальных сигналов разной частоты. Как отмечалось выше, модуль ZET 210 имеет 2 синфазных аналоговых выхода, соответственно можно запустить одновременно две программы «Генератор сигналов».



**Рисунок 1. Окно программы «Генератор сигналов»**

Программами измерения и отображения сигналов являются «Многоканальный осциллограф», «XYZ-осциллограф», «XY-плоттер», «Вольтметр переменного тока», «Вольтметр постоянного тока», «Омметр», «Частотомер», «Фазометр», «Тахометр», «Энкодер», программы тензо- и термоизмерений. Для работы с программами тензо- и термоизмерений «Тахометр» и «Энкодер» требуются соответствующие датчики. Программное обеспечение ZETLab позволяет приступить к процессу измерения сразу после подключения модуля к компьютеру.

Одна из лабораторных работ, реализуемая на базе модуля ZET 210 и не требующая подключения к нему каких-либо дополнительных устройств (кроме ЭВМ), позволяет обучающимся изучить тему «Сложение гармонических колебаний».

Например, запустив работу программ «Генератор сигналов» и «Многоканальный осциллограф», обучающийся легко может убедиться в том, что результат сложения двух гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты  $v_1=v_2=v$  также представляет собой гармоническое колебание с частотой  $v$ .

Известно, что при сложении двух гармонических колебаний одинакового направления, одинаковой амплитуды  $U_m$  и примерно одинаковых частот  $v_1 \approx v_2 \approx v$  возникают биения — колебания с плавно изменяющейся амплитудой. Уравнение биений имеет вид:

$$u(t) = 2U_m \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{\Delta v}{2} \cdot t\right) \cdot \cos(2\pi \cdot v \cdot t) \quad (1)$$

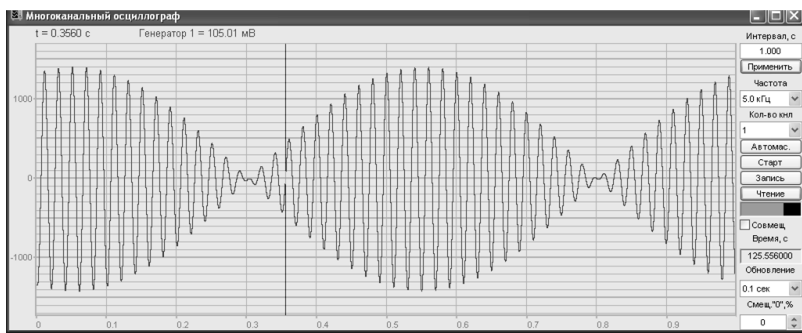
где:  $u(t)$  — мгновенное значение напряжения на выходе генератора, В;  
 $t$  — время, с;

$\Delta\nu = \nu_2 - \nu_1$  — разность частот складываемых колебаний,  
 Гц.

Согласно (1), амплитуда биений равна:

$$U_{\sigma} = \left| 2U_m \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{\Delta\nu}{2} \cdot t\right) \right| \quad (2)$$

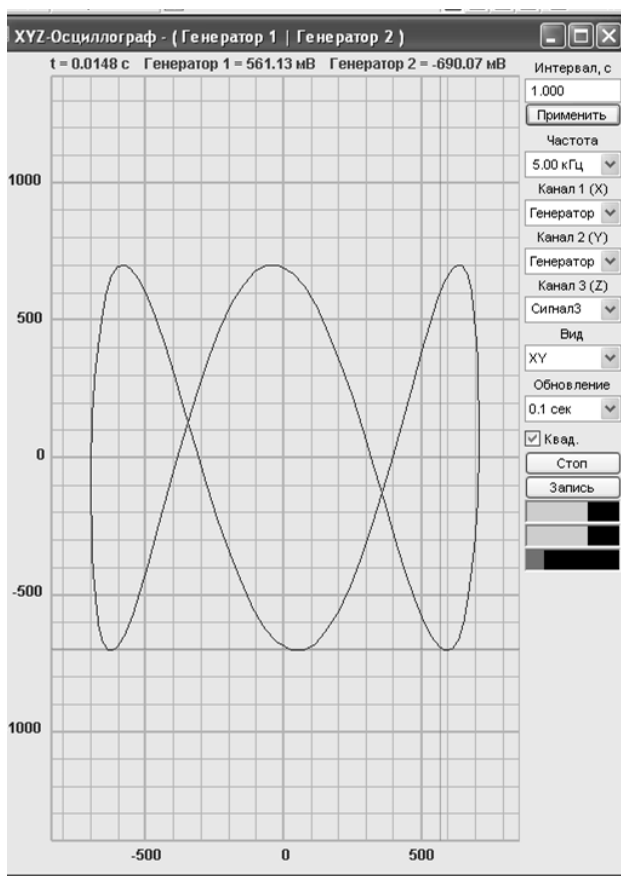
то есть изменяется с частотой  $\Delta\nu$  (частота изменения модуля косинуса в два раза больше частоты изменения косинуса). Используя программы «Многоканальный осциллограф» и «Генератор сигналов», на экране монитора компьютера можно наблюдать осциллограмму биений (рис. 2), исследуя которую, легко определить период и частоту биений; убедиться в том, что частота несущего колебания равна  $\nu$ , а максимальная амплитуда биений, согласно формуле (2), равна  $2U_m$ .



**Рисунок 2. Окно программы «Многоканальный осциллограф»**

Наконец, используя программу «XYZ-осциллограф» (рис. 3) и две программы «Генератор сигналов», на экране монитора ЭВМ можно наблюдать фигуры Лиссажу и убедиться в том, что отношение частот двух складываемых взаимно-перпендикулярных гармонических колебаний равно отношению числа пересечений фигуры Лиссажу с прямыми, параллельными координатным осям. Изменяя в программах «Генератор сигналов» частоты гармонических колебаний, можно изменять вид фигуры Лиссажу. При этом программное

обеспечение ZETLab позволяет перенести любой график в текстовый редактор.



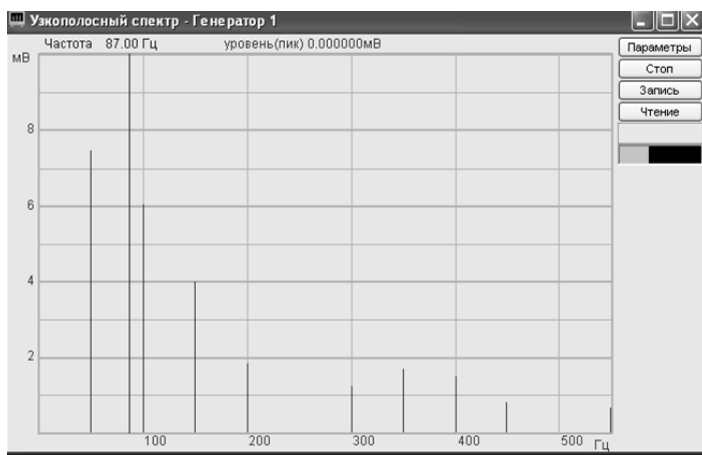
**Рисунок 3. Окно программы «XYZ-осциллограф»**

Благодаря использованию компактного модуля ZET 210 (его размеры: 90x110x35 мм, масса 0,2 кг), ЭВМ и современного программного обеспечения удастся уменьшить размеры лабораторной установки и снизить затраты времени на выполнение заданий обучаемыми.

Другая лабораторная работа, реализуемая на базе модуля ZET 210 и также не требующая подключения к нему никаких устройств,

кроме ЭВМ, позволяет ознакомить обучающихся с темой «Основы Фурье-анализа».

В соответствии с гипотезой Фурье, любой периодический сигнал можно представить в виде суперпозиции одновременно совершающихся гармонических колебаний с различными амплитудами, разными начальными фазами и частотами, кратными частоте  $\nu$  исходного сигнала. Программы «Генератор сигналов» и «Многоканальный осциллограф» позволяют воспроизвести на экране монитора периодические сигналы различной формы. Используя программу «Узкополосный спектр» (рис. 4), можно наблюдать спектрограмму сигнала, определить частоты и амплитуды различных гармоник сложного периодического колебания, сравнить их с теоретическими значениями.



**Рисунок 4. Окно программы «Узкополосный спектр»**

Для ознакомления с основами Фурье-анализа удобно исследовать спектр таких сигналов, как периодическая последовательность прямоугольных импульсов и непрерывная последовательность треугольных импульсов. Амплитуда  $U_n$   $n$ -ой гармоники ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ) должна быть равна:

$$U_n = \frac{2U_{имп}}{\pi^2 n^2} [1 - (-1)^n] \quad (3)$$



- для последовательности треугольных импульсов [3],

$$U_n = \frac{2U_{\text{имп}}}{\pi n} |\sin(\pi n q)| \quad (4)$$

- для последовательности прямоугольных импульсов.

Здесь:  $U_{\text{имп}}$  — амплитуда прямоугольного или треугольного импульса, В;

$q$  — скважность, то есть отношение длительности прямоугольных импульсов к периоду их повторения.

Как видно из формул (3) и (4), спектр треугольных импульсов должен содержать только нечетные гармоники, а в случае прямоугольных импульсов амплитуды с номерами  $k = n \cdot q$  ( $k$  и  $n$  — целые числа) должны быть равны нулю. В этом легко убедиться, изучая спектрограмму сигнала.

В радиотехнике нашли широкое применение различные виды модуляции. Программа «Генератор сигналов» позволяет формировать сигналы на выходных каналах модуля ZET 210 “Sigma USB” с модуляцией амплитуды или частоты гармоническим колебанием, а также частотно-модулированные сигналы с линейной и логарифмической разверткой по частоте.

В простейшем случае, когда модулирующий сигнал представлен одночастотным гармоническим колебанием с частотой  $\Omega$ , уравнение амплитудно-модулированного сигнала имеет вид:

$$u(t) = U_0 (1 + m \cdot \cos 2\pi \Omega t) \cos 2\pi \nu_0 t \quad (5)$$

где:  $u(t)$  — мгновенное значение амплитудно-модулированного напряжения на выходе генератора, В;

$t$  — время, с;

$U_0$  — амплитуда несущего колебания в отсутствии модулирующего сигнала, В;

$\nu_0$  — частота несущего колебания, Гц;

$m$  — глубина модуляции.

Выражение (5) можно представить в виде:

$$u(t) = U_0 \cos 2\pi \nu_0 t + \frac{mU_0}{2} \cdot \cos 2\pi(\nu_0 - \Omega)t + \frac{mU_0}{2} \cdot \cos 2\pi(\nu_0 + \Omega)t \quad (6)$$

Таким образом, амплитудно-модулированный сигнал в простейшем случае содержит три гармоники, амплитуды и частоты которых равны:

$$\begin{aligned} v_1 = v_0 - \Omega, U_1 = \frac{mU_0}{2}; v_2 = v_0, U_2 = U_0; \\ v_3 = v_0 + \Omega, U_3 = \frac{mU_0}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

Задавая в программе «Генератор сигналов» параметры амплитудно-модулированного сигнала  $U_0$ ,  $v_0$ ,  $\Omega$  и  $m$ , с помощью программы «Узкополосный спектр» можно убедиться в справедливости выражений (6) и (7).

Используя программу «Многоканальный осциллограф», можно измерить максимальное  $U_{\max}$  и минимальное  $U_{\min}$  значения амплитуды модулированного сигнала. Согласно (5), они должны быть равны:

$$U_{\max} = U_0(1 + m) \quad (8)$$

$$U_{\min} = U_0(1 - m) \quad (9)$$

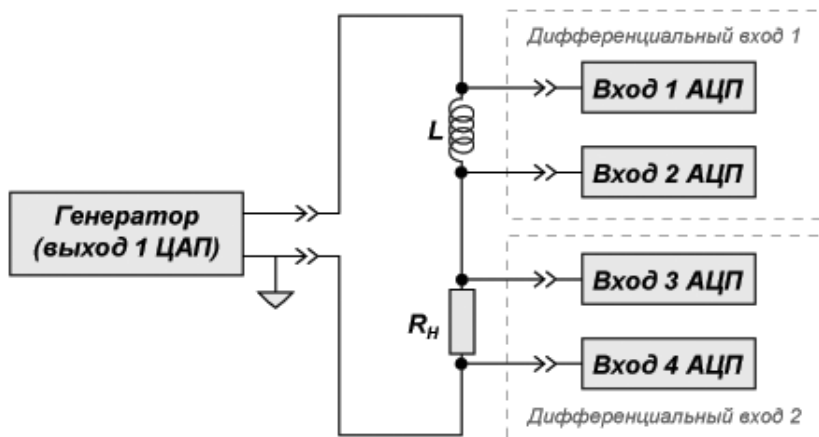
Отсюда:

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \quad (10)$$

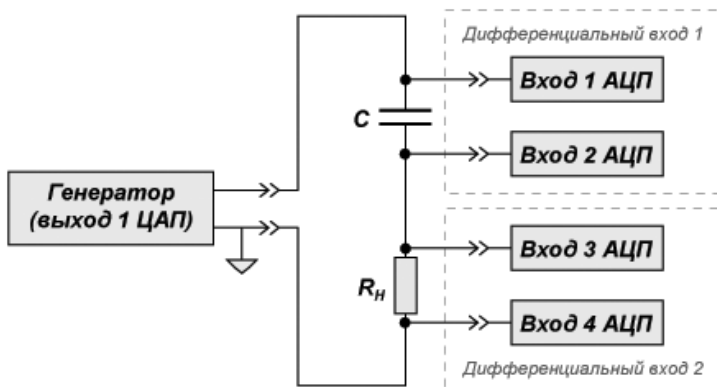
Таким образом, измеряя  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  в программе «Многоканальный осциллограф», можно рассчитать глубину модуляции по формуле (10) и сравнить это значение со значением, заданным в программе «Генератор сигналов».

Таким образом, используя модуль ZET 210 и программное обеспечение ZETLab, можно наглядно сопоставить временное и частотное представление одного и того же сигнала, познакомить обучающихся с фурье-преобразованием сигналов.

Наконец, еще одна лабораторная работа — «Определение емкости и индуктивности» — тоже очень легко реализуется на базе модуля ZET 210. Для ее выполнения достаточно собрать две простейшие схемы (рис. 5 и 6), приведенные на электронном ресурсе [3].



**Рисунок 5. Схема для определения индуктивности с помощью модуля ZET 210**

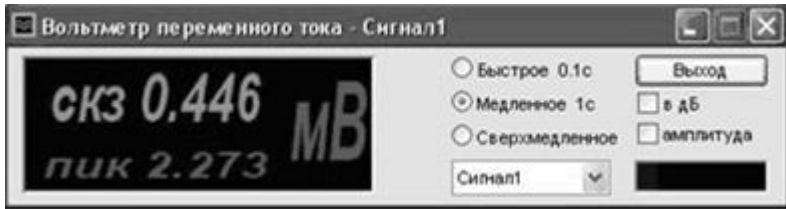


**Рисунок 6. Схема для определения емкости с помощью модуля ZET 210**

Два соседних входных канала АЦП, к которым подключается тот или иной элемент (резистор  $R_n$ , катушка  $L$  или конденсатор  $C$ ), образуют один дифференциальный вход. Входные каналы АЦП включаются в программе «Настройка параметров АЦП и ЦАП» из пакета ZETLab. В программе необходимо указать лишь номера каналов, к которым подключаются элементы, и установить для них тип канала — дифференциальный. Для работы схемы используют генератор синусоидального напряжения модуля ZET-210. Частота

сигнала может быть произвольной, но не должна быть кратной 50 Гц (промышленная частота в России). Уровень сигнала и значение сопротивления  $R_n$  должны обеспечивать запитывание элементов схемы таким образом, чтобы значение силы тока не превышало 10 мА.

Емкость или индуктивность определяют методом сравнения напряжений на конденсаторе (или катушке) и резисторе с известным сопротивлением  $R_n$ . Для измерения напряжения используется программа «Вольтметр переменного тока» (рис. 7). В окне программы отображаются среднеквадратичное (СКЗ) и пиковое (амплитудное) значения напряжения. В программе предусмотрена возможность выбора сигнала (дифференциального входа АЦП), напряжение на котором необходимо измерить.



**Рисунок 7. Окно программы «Вольтметр переменного тока»**

Элементы схем на рисунках 5 и 6 включены последовательно. Поэтому токи, протекающие в них, одинаковы. Следовательно, отношение напряжений на резисторе и катушке индуктивности с учетом ее неизвестного активного сопротивления  $R_L$  будет равно:

$$\frac{U_R}{U_L} = \frac{R_n}{\sqrt{R_L^2 + (2\pi\nu L)^2}} \quad (11)$$

где:  $U_R$  — напряжение на резисторе  $R_n$ , мВ;  
 $R_n$  — известное сопротивление резистора, Ом;  
 $U_L$  — напряжение на катушке, мВ;  
 $L$  — индуктивность катушки, Гн;  
 $\nu$  — частота синусоидального напряжения генератора, Гц.  
 Обозначим:

$$k = \frac{U_R}{U_L} \quad (12)$$

- отношение напряжений на резисторе и катушке. Оно зависит от частоты  $\nu$  синусоидального напряжения. Индуктивность катушки можно определить, если в программе «Вольтметр переменного тока» измерить напряжения  $U_R$  и  $U_L$ , а затем найти их отношение  $k$  для двух разных значений частоты  $\nu_1$  и  $\nu_2$ . Из формул (11) и (12) следует, что индуктивность катушки равна:

$$L = \frac{R_n}{2\pi k_1 k_2} \sqrt{\frac{k_1^2 - k_2^2}{\nu_2^2 - \nu_1^2}} \quad (13)$$

где:  $k_1$  — отношение напряжений на резисторе и катушке при частоте  $\nu_1$ ;  
 $k_2$  — отношение напряжений при частоте  $\nu_2$ .

Зная  $L$ , можно рассчитать активное сопротивление катушки  $R_L$ . Из формул (11) и (12) получается, что

$$R_L = \sqrt{\left(\frac{R_n}{k}\right)^2 - (2\pi\nu L)^2} \quad (14)$$

Необходимо помнить, что с повышением частоты возрастают потери энергии в катушках индуктивности, обусловленные скин-эффектом, излучением, токами смещения в изоляции обмотки и каркасе, вихревыми токами в сердечнике [2]. Поэтому на высоких частотах активное сопротивление катушки может превышать ее сопротивление  $R_L$ , измеренное на низких частотах. Кроме того, каждая катушка помимо индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R_L$  обладает также собственной (межвитковой) емкостью  $C_L$ . Поэтому на высоких частотах катушка образует замкнутую колебательную цепь с собственной резонансной частотой и ее эквивалентная схема усложняется.

В схеме на рисунке 6 отношение напряжений на резисторе  $U_R$  и конденсаторе  $U_C$  с учетом тока утечки и соответствующего ему активного сопротивления  $R_C$  конденсатора, должно быть равно:

$$\frac{U_R}{U_C} = \sqrt{\left(\frac{R_n}{R_C}\right)^2 + (2\pi\nu C R_n)^2} \quad (15)$$

Обозначим:

$$p = \frac{U_R}{U_C} \quad (16)$$

• отношение напряжений на резисторе и конденсаторе. Оно, как и  $k$ , зависит от частоты  $\nu$  синусоидального напряжения. Емкость конденсатора можно найти, если в программе «Вольтметр переменного тока» измерить напряжения  $U_R$  и  $U_C$ , а затем найти их отношение  $p$  для двух разных значений частоты  $\nu_1$  и  $\nu_2$ . Из формул (15) и (16) получается, что

$$C = \frac{1}{2\pi R_n} \sqrt{\frac{p_2^2 - p_1^2}{\nu_2^2 - \nu_1^2}} \quad (17)$$

где:  $p_1$  — отношение напряжений на резисторе и конденсаторе при частоте  $\nu_1$ ;

$p_2$  — отношение напряжений при частоте  $\nu_2$ .

Зная  $C$ , можно рассчитать активное сопротивление  $R_C$  конденсатора. Из формул (15) и (16) следует, что

$$R_C = \sqrt{\frac{R_n^2}{p^2 - (2\pi\nu CR_n)^2}} \quad (18)$$

Следует помнить, что при изменении частоты сигнала изменяются диэлектрическая проницаемость диэлектрика конденсатора и степень влияния паразитных параметров — собственной индуктивности и сопротивления потерь. На высоких частотах любой конденсатор можно рассматривать как последовательный колебательный контур и его эквивалентная схема усложняется.

Конечно, рассмотренные лабораторные работы вовсе не исчерпывают всех возможностей использования модулей ZET 210 и программного обеспечения ZETLab в физическом практикуме.

По сути дела, модуль ZET 210 “Sigma USB” — это универсальная лаборатория. Преимуществами подобной лаборатории при проведении практикума по физике являются экономичность, синхронность выполнения лабораторных работ обучающимися, многовариативность заданий, безопасность, легкость контроля преподавателем.

Экономичность лаборатории обуславливается тем, что, во-первых, вместо множества различных приборов (генераторов, вольтметров, осциллографов и т. д.) используется лишь модуль АЦП-ЦАП, подключаемый к ЭВМ (стоимость одного модуля ZET 210 — менее 16 000 рублей). Во-вторых, при наличии локальной сети сигналы, оцифрованные одним только модулем ZET 210, передаются по сети к каждому компьютеру. Таким образом, всего один модуль ZET 210 обеспечивает множеством приборов каждое место в лаборатории (если оно оснащено персональным компьютером). Правда, в этом случае все обучающиеся выполняют только один вариант лабораторного задания.

Как правило, в учебной лаборатории вуза имеются лишь одна-две однотипные установки, предназначенные для выполнения одной и той же работы. Поэтому на одном занятии разные обучающиеся выполняют различные лабораторные работы, причем им часто приходится приступать к лабораторным занятиям по темам, еще не рассмотренным на лекциях. Противоположная ситуация — это когда с момента получения теоретических знаний на лекции до момента выполнения лабораторной работы уже прошло немало времени. Физическая лаборатория на основе модуля ZET 210 позволяет проводить занятие по определенной теме одновременно со всеми обучающимися. Таким образом, лекционный материал можно сразу закреплять на лабораторных занятиях (а не через 2—3 месяца), чем и обеспечивается синхронность.

При наличии достаточного числа модулей ZET 210, каждому обучающемуся может быть выдан свой вариант задания. Вариативность заданий в ходе проведения лабораторной работы по одной и той же теме можно обеспечить, задавая, например, различные параметры сигналов, поступающих с генераторов модуля ZET 210.

### **Список литературы:**

1. Системы цифровой обработки сигналов и данных [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <http://dspsys.org/fourier> дата обращения (09.11.2013).
2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб пособие для студ. технических специальностей вузов. М.: Академия, 2006. — 560 с.
3. Электронный каталог ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы» [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: <http://www.zetms.ru/catalog/programs/zetlab> дата обращения (09.11.2013).

### 3.6. РАДИОФИЗИКА

#### ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОВОЛНЫ, РАССЕЯННОЙ ОБЪЕКТОМ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

*Громов Вячеслав Александрович*

*научный сотрудник Томского государственного  
университета систем управления и радиоэлектроники,*

*РФ, г. Томск*

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

*Орлов Павел Евгеньевич*

*научный сотрудник Томского государственного  
университета систем управления и радиоэлектроники,*

*РФ, г. Томск*

*E-mail: [blink\\_281@mail.ru](mailto:blink_281@mail.ru)*

#### POLARIZATION CHARACTERISTICS WAVE SCATTERED COMPLEX OBJECT

*Viacheslav Gromov*

*research assistant,*

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,*

*Russia, Tomsk*

*Orlov Pavel*

*research assistant,*

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,*

*Russia, Tomsk*

#### АННОТАЦИЯ

В статье приведены результаты численного электромагнитного моделирования рассеяния плоской электромагнитной волны объектом сложной формы. Показаны диаграмма рассеяния и поляризационная диаграмма поля для модели автомобиля при длине волны 25 см.



Результаты могут быть использованы при разработке радиолокационных систем.

### ABSTRACT

In this paper the results of numerical modeling of electromagnetic scattering a plane electromagnetic wave from complex shape object are presented. Shows a scattering diagram of the electromagnetic field, the polarization scattering diagram for the model car at a wavelength 25 cm.

**Ключевые слова:** радиоволна; поляризация; угол эллиптичности.

**Keywords:** radio wave; polarization; ellipticity angle.

Для проектирования и оценки эффективности современных радиолокационных систем необходимо знание априорных характеристик рассеяния наблюдаемых объектов [1]. Развитие техники и методов обработки радиолокационных сигналов позволяет увеличивать число и точность измеряемых характеристик поля, рассеянного от объектов при их радиолокации. При этом остается актуальной задача разработки новых способов и алгоритмов обнаружения и селекции радиолокационных сигналов.

Информация о состоянии поляризации принимаемых электромагнитных волн может быть использована для обнаружения и селекции радиосигналов по поляризационным признакам [2]. Для описания состояния поляризации электромагнитной волны могут быть использованы неэнергетические параметры полностью поляризованного сигнала – угол ориентации  $\theta$  и угол эллиптичности  $\varepsilon$ , связанные с ортогональными составляющими вектора Джонса известными выражениями [3]:

$$\begin{aligned}\theta &= 0,5 \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left[ \frac{(2E_x E_y \cos(\delta))}{(E_x^2 - E_y^2)} \right], \\ \varepsilon &= 0,5 \operatorname{arcsin} \left[ \frac{(2E_x E_y \sin(\delta))}{(E_x^2 + E_y^2)} \right],\end{aligned}\quad (1)$$

где:  $E_x, E_y$  — ортогонально поляризованные составляющие волны;

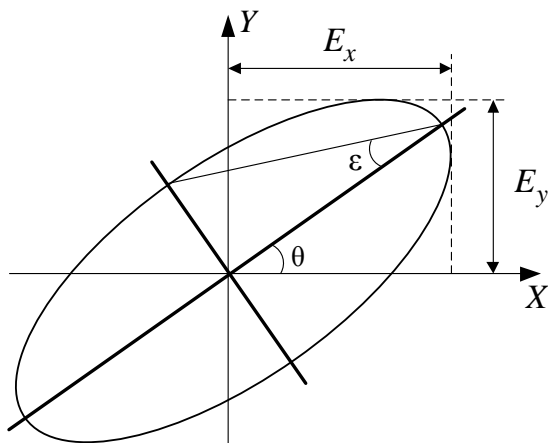
$\delta = \varphi_x - \varphi_y$  — разность фаз ортогональных составляющих.

На рисунке 1 изображен поляризационный эллипс и показаны углы ориентации и эллиптичности. Угол эллиптичности может принимать значения от  $-45^\circ$  до  $45^\circ$ . При значении  $0^\circ$  считают,

что поляризация волны линейная, при  $\pm 45^\circ$  — круговая, при остальных — эллиптическая.

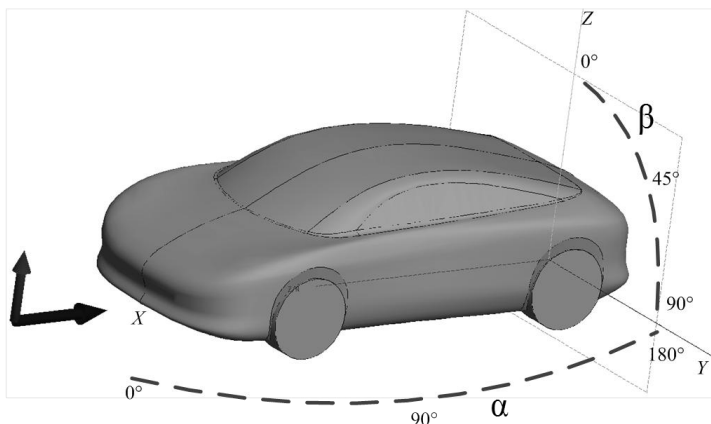
Цель статьи — выполнить оценку и анализ поляризационной характеристики радиоволны — угла эллиптичности, рассеянной объектом сложной формы.

С помощью программы электромагнитного моделирования FEKO [4] был выполнен расчет рассеяния плоской волны телом сложной формы. В качестве тела сложной формы была использована модель автомобиля, которая в программе представлена как металлическая поверхность в свободном пространстве (рисунок 2). Модель имеет следующие размеры: длина — 5 м, ширина — 2,8 м, высота — 1,5 м. На рисунке 2 синей стрелкой изображено направление, с которого падает волна, красной стрелкой показано состояние поляризации волны. В данном случае вертикально поляризованная волна, по отношению к плоскости  $XOY$ . Поскольку модель автомобиля симметрична относительно плоскости  $XOZ$  моделирование выполнено для азимута  $\alpha$  от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  и углов места  $\beta$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .



**Рисунок 1. Углы ориентации и эллиптичности**

Для расчета использован многоуровневый быстрый метод многополосников (Multi-level Fast Multipole Method). Расчет диаграммы рассеяния выполнен с шагом  $0,2^\circ$  по азимуту (от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ ) и с шагом  $0,2^\circ$  по углу места (от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ ). Длина волны облучения — 25 см.



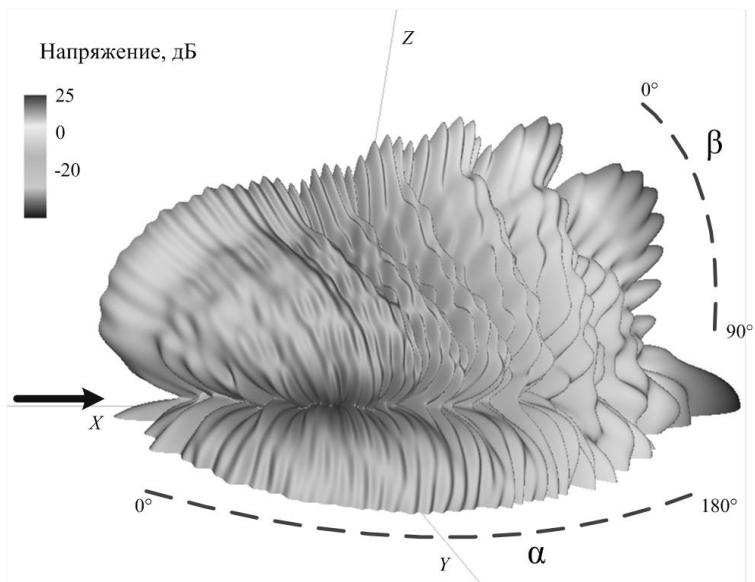
**Рисунок 2. Модель автомобиля**

Результатом расчетов программы FEKO является файл с данными, который содержит информацию о напряженности поля в дальней зоне. Информация представлена в виде ортогональных составляющих и их фаз для каждой точки азимута и угла места. На рисунке 3 показана результирующая диаграмма рассеяния (напряженность поля в дальней зоне), вычисленная по формуле

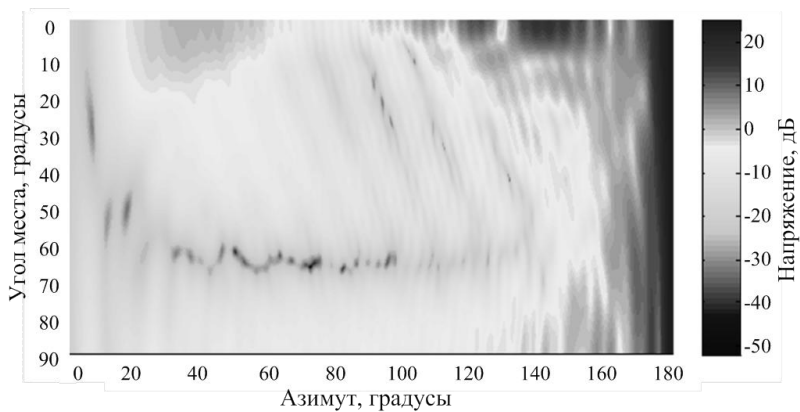
$$E = \sqrt{\left(|E_x \exp(j\varphi_x)\right|^2 + \left(|E_y \exp(j\varphi_y)\right|^2)}. \quad (2)$$

На рисунке 4 приведена диаграмма рассеяния, построенная в MATLAB.

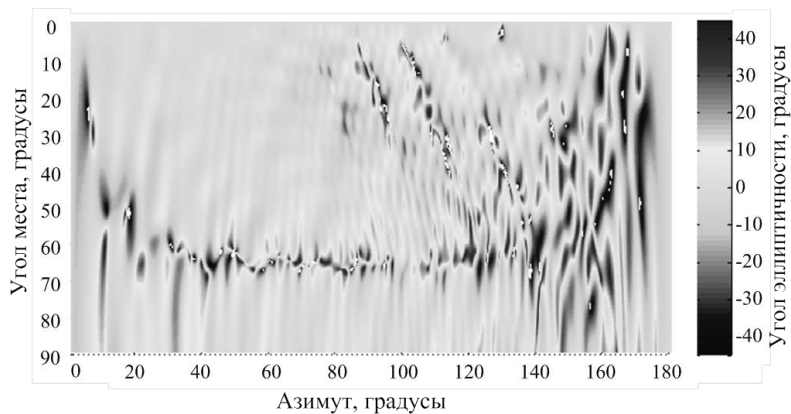
Используя данные о диаграмме рассеяния, вычислена поляризационная диаграмма рассеяния волны на автомобиле по формуле (1) как угол эллиптичности.



**Рисунок 3. Диаграмма рассеяния автомобиля в FEKO**

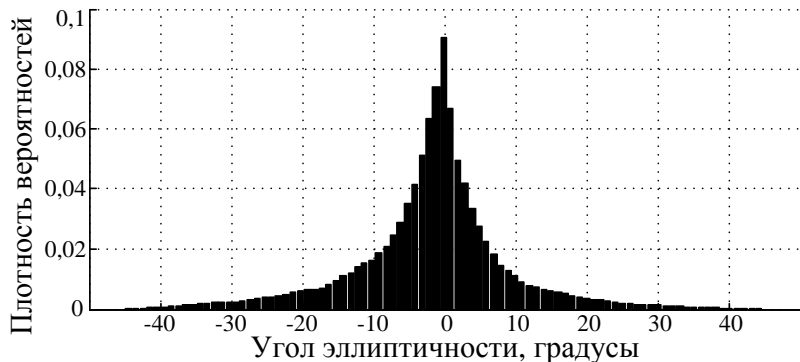


**Рисунок 4. Диаграмма рассеяния автомобиля в MATLAB**



**Рисунок 5. Поляризационная диаграмма**

На рисунок 6 приведена гистограмма угла эллиптичности поляризационной диаграммы для всех азимутов и углов места. Основная часть значений углов эллиптичности находится в области  $0^\circ$ , то есть имеем линейную поляризацию отраженной волны по совокупности всех углов места и азимута.



**Рисунок 6. Гистограмма угла эллиптичности**

Анализ результатов моделирования рассеяния плоской электромагнитной волны на предмете сложной формы показал, что поляризация рассеянной волны в 90 % соответствует номинальной падающей.

### **Список литературы:**

1. Штагер Е.А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы. М.: Радио и связь, 1986. — 184 с.
2. Громов В.А., Шарьгин Г.С., Миронов М.В. Угол эллиптичности электромагнитных сигналов и его использование для неэнергетического обнаружения, оптимального по критерию Неймана–Пирсона / Известия вузов. Физика. — 2012. — Т. 55, — № 3. — С. 15—21.
3. Kostinski A.B., Boerner W.M. On foundations of radar polarimetry / IEEE Transactions on Antennas and Propagation. — 1986. — Vol. 34, — № 12. — P. 1395—1404.
4. Сайт программы FEKO. [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <https://www.feko.info> (дата обращения: 05.11.2013).

### 3.7. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

#### РАССИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСОВ ПОСТУПАТЕЛЬНО ДВИГАЮЩЕЙСЯ ЖЁСТКОЙ СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА

*Войтик Виталий Викторович*

*аспирант*

*Башкирского Государственного Педагогического Университета,*

*РФ, республика Башкортостан, г. Уфа*

*E-mail: [voytik1@yandex.ru](mailto:voytik1@yandex.ru)*

#### GRADUAL CLOCK SKEW BY MEANS OF MOVING RIGID REFERENCE SYSTEM

*Vitaliy Voytik*

*post graduate student*

*of Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla,*

*Russia, the Republic of Bashkortostan, Ufa*

#### АННОТАЦИЯ

В статье двумя способами вычисляется рассинхронизация в лабораторной системе двух часов: покоящихся в начале отсчёта жёсткой системы отсчёта и в удалённой точке. Один из этих методов общерелятивистский, второй — использует кинематическое замедление времени. В результате рассинхронизация двух часов зависит от вектора расстояния между часами и некоторого векторного коэффициента зависящего от конкретного закона движения начала отсчёта.

#### ABSTRACT

In the article clock skew in laboratory system of two hours has been calculated: centering at a starting point of rigid reference system and in remote point. The first out of these methods is general relativistic while the second uses kinematic time dilation. As a result clock skew of two hours depends on a distance vector between hours and on some kind of vector index, which depends on a particular law of starting point movement.

**Ключевые слова:** преобразование Лоренца-Мёллера-Нэлсона; рассинхронизация часов.

**Keywords:** Lorentz-Møller-Nelson transformation; desync of clocks.

Специальное преобразование между лабораторной инерциальной системой отсчёта  $S(T, \mathbf{R})$  и неинерциальной, поступательно движущейся без вращения (относительно лабораторной системы) жёсткой системой  $s: (t, \mathbf{r})$  выглядит в виде [5]

$$T = \frac{\mathbf{v}\mathbf{r}}{\sqrt{1-v^2}} + \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{1-v^2}}, \quad (1)$$

$$\mathbf{R} = \left\{ \mathbf{r} + \frac{1-\sqrt{1-v^2}}{v^2\sqrt{1-v^2}} \mathbf{v}(\mathbf{v}\mathbf{r}) \right\} + \int_0^t \frac{\mathbf{v}dt}{\sqrt{1-v^2}}. \quad (2)$$

При этом собственное ускорение этой системы отсчёта  $\mathbf{W}$  есть [4]

$$\mathbf{W} = \frac{\dot{\mathbf{v}}}{\sqrt{1-v^2}} + \frac{1-\sqrt{1-v^2}}{v^2(1-v^2)} (\dot{\mathbf{v}}\mathbf{v})\mathbf{v}, \quad (3)$$

а угловая скорость собственного вращения  $\mathbf{\Omega}$  совпадает с собственной частотой прецессии Томаса  $\mathbf{\Omega}_T$

$$\mathbf{\Omega} = \mathbf{\Omega}_T = \frac{1-\sqrt{1-v^2}}{v^2\sqrt{1-v^2}} \mathbf{v} \times \dot{\mathbf{v}}, \quad \dot{\mathbf{v}} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (4)$$

В [2] была вычислена скорость движения в лабораторной системе точек системы  $s$ . Она равна

$$\mathbf{U}_s = \mathbf{V} - \frac{(\mathbf{V}\mathbf{r})\dot{\mathbf{V}}}{\sqrt{1-V^2}} + \sqrt{1-V^2}\mathbf{\Omega} \times \mathbf{r} - \frac{\sqrt{1-V^2}(1-\sqrt{1-V^2})}{V^2} [\mathbf{V}(\mathbf{\Omega} \times \mathbf{r})] \mathbf{V} \quad (5)$$



Для

$$\mathbf{\Omega} = \mathbf{\Omega}_T = \frac{1 - \sqrt{1 - V^2}}{V^2(1 - V^2)} \mathbf{V} \times \dot{\mathbf{V}} \quad (6)$$

скорость точек системы координат  $s$  равна

$$\mathbf{U}_s = \mathbf{V} - \frac{1 - \sqrt{1 - V^2}}{V^2} (\mathbf{Vr}) \dot{\mathbf{V}} - \frac{(1 - \sqrt{1 - V^2})^2}{V^4 \sqrt{1 - V^2}} (\mathbf{Vr})(\dot{\mathbf{V}}\mathbf{V})\mathbf{V} - \frac{1 - \sqrt{1 - V^2}}{V^2} (\dot{\mathbf{V}}\mathbf{r})\mathbf{V} \quad (7)$$

где:  $\mathbf{V}(T)$  — скорость начала отсчёта  $s$ ,  $\dot{\mathbf{V}} = \frac{d\mathbf{V}}{dT}$ . В [3] была вычислена зависимость векторного параметра  $\mathbf{V}$  от координат системы  $s$

$$\mathbf{v} = \mathbf{V} - \sqrt{1 - V^2} (\mathbf{Vr})\mathbf{W} + \frac{\sqrt{1 - V^2} (1 - \sqrt{1 - V^2}) (\mathbf{Vr})(\mathbf{VW})\mathbf{V}}{V^2} \quad (8)$$

Рассинхронизацию физических часов расположенных в разных точках системы координат  $s$  и рассматриваемую в лабораторной системе отсчёта можно объяснить двояко. Одно из объяснений этого эффекта заключается в различной скорости хода часов расположенных в положении  $s$  отличающимся гравитационным потенциалом. Действительно, вычислим дифференциал физического времени прошедшего в точке  $s$  координатой  $\mathbf{r}$ . Он равен

$$d\tau = \sqrt{g_{00}} dt \quad (9)$$

где  $dt$  является координатным временем, а  $g_{00}$  определяется из интервала

$$ds^2 = (1 + 2\mathbf{Wr}) dt^2 - 2(\mathbf{\Omega}_T \times \mathbf{r}) d\mathbf{r} dt - d\mathbf{r}^2 \quad (10)$$

Это время  $dt$  можно вычислить дифференцируя уравнение (1) полагая при этом  $\mathbf{r} = \text{const}$ . В результате получим, что

$$dt = \frac{\sqrt{1-v^2}}{1 + \mathbf{r}\dot{\mathbf{v}} + \frac{(\mathbf{v}\dot{\mathbf{v}})\mathbf{r}\mathbf{v}}{1-v^2}} dT. \quad (11)$$

Далее, из уравнения (3) следует, что

$$\dot{\mathbf{v}} = \sqrt{1-v^2} \mathbf{W} - \frac{\sqrt{1-v^2}(1-\sqrt{1-v^2})}{v^2} (\mathbf{v}\mathbf{W})\mathbf{v} \quad (12)$$

Подставим это выражение в (11) и найдём значение дроби оставляя только члены с первой степенью собственного ускорения. Получим, что

$$dt = \sqrt{1-v^2} \left[ 1 - \sqrt{1-v^2} \mathbf{W}\mathbf{r} - \frac{1-\sqrt{1-v^2}}{v^2} (\mathbf{v}\mathbf{W})(\mathbf{r}\mathbf{v}) \right] dT. \quad (13)$$

Далее, вычислим значение  $\sqrt{1-v^2}$  также оставляя члены только с первой степенью по  $\mathbf{W}$ . Учитывая (8) имеем

$$\sqrt{1-v^2} = \sqrt{1-V^2} (1 + (\mathbf{V}\mathbf{W})(\mathbf{V}\mathbf{r})). \quad (14)$$

Подставив (14) в (13) окончательно получим следующее значение для дифференциала координатного времени  $dt$

$$dt = \sqrt{1-V^2} \left[ 1 - \sqrt{1-V^2} \mathbf{W}\mathbf{r} + \frac{\sqrt{1-V^2}(1-\sqrt{1-V^2})}{V^2} (\mathbf{V}\mathbf{W})(\mathbf{r}\mathbf{V}) \right] dT. \quad (15)$$

Физическое же время  $d\tau$  согласно (9) и (10) в  $1 + \mathbf{W}\mathbf{r}$  раз больше чем координатное. Поэтому

$$d\tau = \sqrt{1-V^2} \left[ 1 + (1 - \sqrt{1-V^2}) \mathbf{W}\mathbf{r} + \frac{\sqrt{1-V^2}(1 - \sqrt{1-V^2})}{V^2} (\mathbf{V}\mathbf{W})(\mathbf{r}\mathbf{V}) \right] dT \quad (16)$$

и рассинхронизация часов в точке с координатой  $\mathbf{r}$  и в начале отсчёта будет

$$\Delta\tau = \sqrt{1-V^2} \mathbf{r} \left[ (1 - \sqrt{1-V^2}) \mathbf{W} + \frac{\sqrt{1-V^2}(1 - \sqrt{1-V^2})}{V^2} (\mathbf{V}\mathbf{W})\mathbf{V} \right] dT. \quad (17)$$

Данный эффект можно объяснить также и чисто кинематическим образом. Он появляется из-за неоднородности движения разных точек системы отсчёта  $s$ . Например, для рассинхронизации часов за время  $dT$  в начале отсчёта и в точке с координатой  $\mathbf{r}$  величина рассинхронизации будет равна

$$\Delta\tau = \left( \sqrt{1-U_s^2} - \sqrt{1-V^2} \right) dT, \quad (18)$$

что при учёте равенства (7), составит величину

$$\Delta\tau = \sqrt{1-V^2} \mathbf{r} [(\mathbf{V}\mathbf{W})\mathbf{V} - \mathbf{V} \times \boldsymbol{\Omega}_T] dT. \quad (19)$$

Подставив сюда

$$\boldsymbol{\Omega}_T = \frac{1 - \sqrt{1-V^2}}{V^2} \mathbf{V} \times \mathbf{W} \quad (20)$$

можно заметить, что (19) и (17) эквивалентны. Если подставить в (19) выражения (6) и

$$\mathbf{W} = \frac{\dot{\mathbf{V}}}{1-V^2} + \frac{1-\sqrt{1-V^2}}{V^2\sqrt{1-V^2}^3}(\mathbf{V}\dot{\mathbf{V}})\mathbf{V}, \quad (21)$$

то можно выразить величину рассинхронизации двух часов через скорость и лабораторное ускорение начала отсчёта

$$\Delta\tau = \mathbf{r} \left[ \frac{1-\sqrt{1-V^2}}{V^2(1-V^2)}(\mathbf{V}\dot{\mathbf{V}})\mathbf{V} + \frac{1-\sqrt{1-V^2}}{\sqrt{1-V^2}}\dot{\mathbf{V}} \right] dT. \quad (22)$$

Для прямолинейного движения системы отсчёта (22) можно проинтегрировать. В результате рассинхронизация равна

$$\tau = x \left[ \text{arth } V - V \right]_0^T. \quad (23)$$

Данное значение рассинхронизации было уже найдено в [1]. В общем же случае рассинхронизация часов зависит от конкретного закона движения начала отсчёта.

### Список литературы:

1. Войтик В.В. О влиянии ускорения на прямолинейное движение жёсткого стержня. 2. Рассинхронизация часов// Вест. Чел. гос. унив. Физика, — 2011. — № 7 (222). — вып. 9. — с. 50—54
2. Войтик В.В. О движении точек жёсткой системы отсчёта. Сборник материалов II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки» 26—27 ноября 2013 г., научно-издательский центр «Открытие» г. СПб.
3. Voytik V.V. On a special transformation to a non-inertial, radially rigid reference frame// Grav. and Cosm., — 2013 — № 3. — p. 193—200.
4. Voytik V.V. The general form-invariance principle// Grav. and Cosm., — 2011. — v. 17. — № 3. — p. 218—223.
5. Nelson R.A. Generalized Lorentz transformation for an accelerated, rotating frame of reference// J. Math. Phys., — 1987. — № 28. — p. 2379—2383.

### **3.8. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

#### **МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРУПОЛЬНОГО ОРИЕНТАЦИОННОГО ПОРЯДКА В ГРЕБНЕОБРАЗНЫХ ПОЛИМЕРАХ**

***Шевченко Светлана Сергеевна***

*канд. физ.-мат. наук, доцент каф. физики  
филиала Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [sveta-shev@yandex.ru](mailto:sveta-shev@yandex.ru)*

***Костин Иван Владимирович***

*канд. физ.-мат. наук, доцент каф. физики  
филиала Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [ivk20062006@yandex.ru](mailto:ivk20062006@yandex.ru)*

***Нилова Людмила Ивановна***

*зав. каф. физики филиала Военной Академии Министерства обороны,  
РФ, г. Череповец  
E-mail: [samurasam@rambler.ru](mailto:samurasam@rambler.ru)*

# QUADRUPOLE ORIENTATION ORDER MODELING IN COMB-SHAPED POLYMERS

*Svetlana Shevchenko*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of branch of Military Diplomatic Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

*Ivan Kostin*

*candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor  
of branch of Military Diplomatic Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

*Lyudmila Nilova*

*head of the chair of Physics  
of branch of Military Diplomatic Academy of the Ministry of Defence,  
Russia, Cherepovets*

## АННОТАЦИЯ

Развита теория продольных релаксационных процессов, связанных с локальной ориентационной упорядоченностью сегментов полимерных цепей, состоящих из жестких кинетических единиц, находящихся в протяженном двумерном слое конечной толщины при «полусвободных» граничных условиях для концов цепей. Рассчитана зависимость параметра квадрупольного порядка как функция длины развязки боковой группы, которая достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными по исследованию методом ЯМР упорядоченности в полиметакрилатах, содержащих фенилбензолные мезогенные группы.

## ABSTRACT

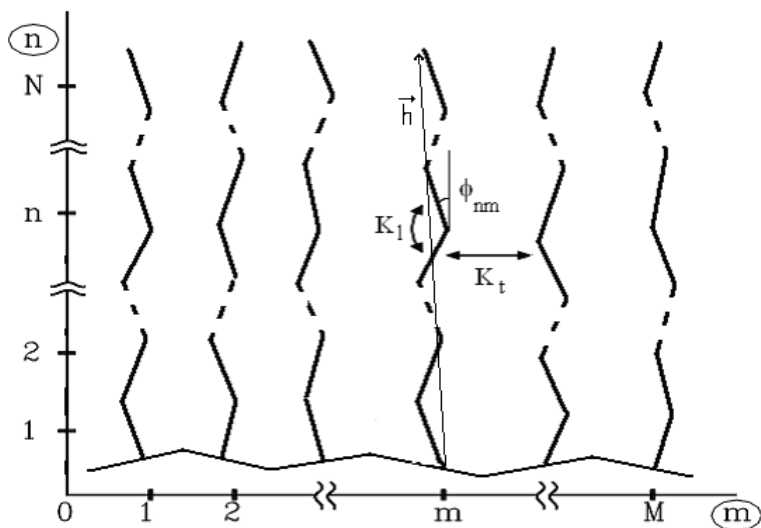
There has been advocated the theory of long relaxation processes connected with local orientation relationship of polymer segments, which consist of rigid kinetic units. These units are in the extended finite two-dimensional layer in terms of semifree border conditions for chain ends. Dependence of quadrupole order parameter as a function of coupling length of a pendent group has been calculated, which correlates very accurately with the experiment data on NMR studies of ordering in polymethacrylates consisting phenyl benzene mesogenic groups.

**Ключевые слова:** гребнеобразные полимеры; квадрупольный порядок; длина развязки боковой группы.

**Keywords:** comb-shaped polymers; quadrupole order; coupling length of a pendent group.

Исследование конформационных и динамических свойств поверхностных мезофазных структур представляет актуальный интерес в связи с существованием приграничных монослоев, ориентированных пленок, отдельных макромолекул в разбавленных растворах гребнеобразных полимеров,  $\beta$ -слоев в полипептидах и др. Для ряда практических задач, особенно при сравнении с экспериментом, представляется необходимым рассмотреть ориентационное поведение и динамику движений конечных цепей или их участков. Существует множество экспериментальных данных, указывающих на значительное влияние длины боковых групп на свойства анизотропии и скорость релаксационных процессов в разбавленных растворах гребнеобразных полимеров, требующих теоретической интерпретации. В данной работе, изучаются закономерности упорядоченности сегментов взаимодействующих полимерных цепей с жесткостью на изгиб, состоящих из жестких кинетических единиц, находящихся в конечных двумерных системах (слоях), в зависимости от положения сегмента в цепи, соотношения констант локальных внутри- и межцепных взаимодействий.

В используемой в работе многоцепной модели ориентационно упорядоченного слоя предполагается [1, 2], что достаточно большое число  $M$  полимерных цепей конечной длины находятся в одной плоскости — двумерной «квазирешетке» (рис. 1). Каждая цепь состоит из  $N$  жестких кинетических единиц, которые могут ориентироваться на фоне вязкой среды. Если эту модель применить к описанию упорядоченного состояния макромолекул гребнеобразных полимеров, то параметр  $N$  характеризует длину боковых цепей, а число  $M$  пропорционально длине основной цепи соответственно (рис. 1).



**Рисунок 1. Модель двумерного полимерного протяженного слоя конечной толщины, содержащего  $M$  полужестких цепей с конечной контурной длиной  $N$**

Ориентацию жестких кинетических единиц цепей в двумерной системе можно характеризовать дипольным параметром порядка

$$\mu_{\vec{n}} = \cos \varphi_{\vec{n}} \quad (1)$$

где угол  $\varphi_{\vec{n}} \equiv \varphi_{n, m}$  определяет ориентацию  $n$ -ой единицы, расположенной в  $m$ -ой цепи, относительно выделенного в плоскости «квазирешетки»  $(n, m)$  направления (например, направления преимущественного упорядочения цепей) (рис. 1). В работе использованы «полусвободные» граничные условия, налагаемые на ориентацию концов любой цепи в слое  $\varphi_{0, m} = 0$ ,  $\varphi_{N+1, m} - \varphi_{N, m} = 0$ , которые можно использовать для моделирования упорядочения и локальной подвижности цепей в поверхностных слоях на межфазных границах (жидких и твердых поверхностях), сравнительно коротких цепей, ориентированных



на подложке или боковых мезогенных групп в разбавленных растворах гребнеобразных полимеров.

При большом внутри- и межмолекулярного ориентационном порядке кинетические единицы цепей совершают заторможенные продольные колебания вблизи минимума дипольного потенциала, для которого углы поворотов соседних единиц относительно друг друга являются достаточно малыми:  $\varphi_{n,m} - \varphi_{n-1,m} < 1$  рад и  $\varphi_{n,m} - \varphi_{n,m-1} < 1$  рад. В этом (низкотемпературном) приближении эффективная потенциальная энергия внутри- и межцепного взаимодействий ближайших единиц цепей для рассматриваемой многоцепной модели имеет вид [1]:

$$V\{\varphi_{n,m}\} = \frac{1}{2} K_l \sum_{n,m} (\varphi_{n,m} - \varphi_{n-1,m})^2 + \frac{1}{2} K_t \sum_{n,m} (\varphi_{n,m} - \varphi_{n,m-1})^2, \quad (2)$$

где энергетическая константа  $K_l$  связана с термодинамической жесткостью цепей на изгиб, характеризуемой числом жестких кинетических единиц в сегменте Куна длиной  $A$  [1]:

$K_l \sim (k_B T / 4) A$ , а соответствующая (в «поперечном» направлении слоя  $m$ ) константа  $K_t$  характеризует локальные межцепные ориентационные взаимодействия единиц, находящихся в соседних цепях.

Во многих экспериментальных методах исследования упорядоченности в полимерных системах определяется квадрупольный параметр порядка

$$S_{n,m} = \frac{1}{2} \langle 2 \cos^2 \varphi_{n,m} - 1 \rangle = \langle \cos(2\varphi_{n,m}) \rangle = \exp \left[ - \frac{2 \langle (\varphi_{n,m})^2 \rangle}{2} \right] = \mu_n^4, \quad (3)$$

который удобно вычислять по значению дальнего порядка  $\mu_n$ , определяемого выражением (1) [3]. Экспериментальное подтверждение результатов расчета упорядоченности, полученных в данной работе, можно получить при объяснении закономерностей ориентационного порядка в боковых группах гребнеобразных полимеров, содержащих гибкие мезогенные развязки, исследованных методом ЯМР в работе [3]. Цель этой работы заключалась в изучении

ориентационного поведения во внешнем магнитном поле нескольких гомологов ряда ЖК-полимеров, содержащих фенилбензолные мезогенные группы. В работе отмечается, что только эксперименты с гомологическими рядами дают возможность получить количественную информацию о влиянии молекулярного строения мезогенных фрагментов на ориентационный порядок в ЖК-полимерах. Одним из результатов работы [3] был вывод о том, что параметр порядка в исследуемых полимерах не зависит от степени полимеризации основной цепи и от их молярной массы. Следовательно, для изучения свойств таких полимеров является допустимым использование модели бесконечно-протяженного слоя ( $M \gg 1$ ) конечной толщины ( $N$ ), используемой в данной работе. Кроме этого, в работе [3] было обнаружено монотонное уменьшение параметра порядка при удлинении концевой боковой группы (за счет увеличения длины гибкоцепной алифатической развязки), и указано на отсутствие в последние 15 лет в литературе каких-либо данных, объясняющих наблюдаемое поведение параметра порядка, в частности отсутствие эффекта «чет-нечет» при изменении длины развязки в боковой группе.

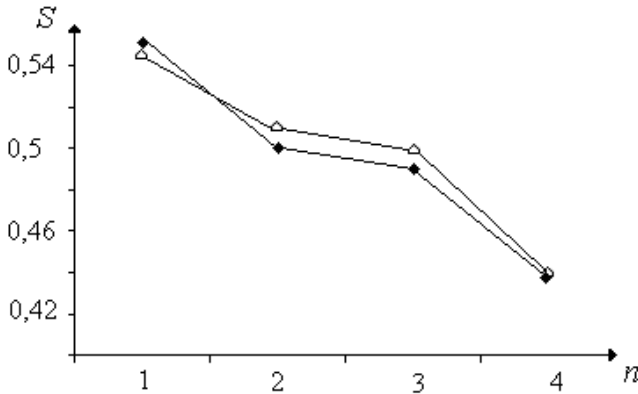
С целью теоретической интерпретации наблюдаемых закономерностей, для модели полимерного конечного слоя при граничных условиях «полусвободные концы», лучше всего подходящих для описания поведения гребнеобразных полимеров, была рассчитана зависимость параметра квадрупольного порядка  $S$  от длины развязки ( $n$ ) боковой группы. Для более точного соответствия расчетных и экспериментальных данных следует учесть тот факт, что при удлинении боковой цепи увеличивается число единиц в статистическом сегменте Куна (параметр  $a$  в данной модели), что обнаружено в ряде экспериментальных работ по исследованию свойств гребнеобразных полимеров методом диэлектрической релаксации (ДР) [4]. В таблице 1 при фиксированном значении параметра межцепных взаимодействий  $b$  приводится зависимость персистентной длины  $a$  от  $n$  — длины боковой цепи, которая описывает этот гомологический ряд полимеров в рамках данной модели.

На рис. 2. представлено сопоставление экспериментальных и рассчитанных значений параметра порядка  $S$  в зависимости от длины боковых групп ( $n$ ). Видно, что полученная теоретическая зависимость достаточно хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными и действительно демонстрирует отсутствие эффекта «чет-нечет» для гребнеобразных ЖК-полиметакрилатов.

Таблица 1.

**Зависимость эффективной термодинамической жесткости цепи на изгиб  $a$  от длины боковой развязки  $n$  для гребнеобразных полимеров P1—P4 при фиксированном значении параметра межцепных взаимодействий ( $b=0,5$ )**

$n$	$a$
1	3,3
2	3,8
3	5
4	5



**Рисунок 2. Зависимость параметра квадрупольного порядка  $S$  для гребнеобразных ЖК полиметакрилатов от длины алифатической развязки ( $n$ ): экспериментальные данные по ЯМР [3] ( $\triangle$ ) и теоретические расчеты ( $\blacklozenge$ ).**

**Список литературы:**

1. Шевченко С.С. Дис...канд. физ. - мат. наук. СПб.: РГПУ, 2005.
2. Maximov A.V., Shevchenko S.S., Maximova O.G., Gotlib Yu.Ya. Macromolecular Symposia, 2001, 63, 309.
3. Varmatov E.V. Journal of Polymer Science, 2002, 40, 2044.
4. Бурштейн Л.Л., Шибавев В.П. Высокомолек. соед. А., 1982, 25, 3.

## СЕКЦИЯ 4.

## БИОЛОГИЯ

### 4.1. БОТАНИКА

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ПИОНОВ

***Реут Антонина Анатольевна***

*канд. биол. наук, научный сотрудник лаборатории интродукции и селекции цветочных растений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический сад-институт Уфимского научного центра Российской академии наук, РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа  
E-mail: [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)*

***Миронова Людмила Николаевна***

*канд. сел.-хоз. наук, зав. лабораторией интродукции и селекции цветочных растений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический сад-институт Уфимского научного центра Российской академии наук, РФ, Республика Башкортостан, г. Уфа  
E-mail: [cvetok.79@mail.ru](mailto:cvetok.79@mail.ru)*

## PROSPECTS FOR INCREASING THE SEED PRODUCTIVITY OF PEONIES

***Reut Antonina Anatolievna***

*candidate of Science, researcher with the lab. introduction and selection of flowering plants of the Federal State Organization Science Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russia, Republik of Bashkortostan, Ufa*

***Mironova Lyudmila Nikolaevna***

*candidate of Sciences, Head of Laboratory introduction and selection of flowering plants of the Federal State Organization Science Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Russia, Republik of Bashkortostan, Ufa*

### АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты изучения влияния минеральных удобрений и синтетических регуляторов роста на семенную продуктивность пионов, культивируемых в Башкирском Предуралье. Приведены данные, полученные в полевых условиях. Показана положительная отзывчивость видовых пионов на обработку растений регуляторами роста.

### ABSTRACT

The paper presents results on the effect of synthetic fertilizers and growth regulators on seed production of peonies, cultivated in the Bashkir Urals. The data obtained in the field. The positive responsiveness species peonies processing plant growth regulators.

**Ключевые слова:** видовые пионы; минеральные удобрения; регуляторы роста растений; семенная продуктивность.

**Keywords:** species peonies; fertilizers; plant growth regulators and seed production.

Регуляторы роста растений успешно используются для ускорения цветения и созревания плодов, причем установлено, что каждый препарат имеет свою «специализацию» [4]. Целью работы являлось изучение влияния удобрений и регуляторов роста на семенную продуктивность пионов.

В качестве объектов исследований были использованы 4 вида пиона из коллекции Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН: *Paeonia anomala* L. — включен в Красную

книгу Республики Башкортостан, отнесен к категории 1 — вид, находящийся под угрозой исчезновения [1]. *P. hybrida* Pall. — включен в Красную книгу Российской Федерации, статус 2 б — вид, сокращающийся в численности [2]. *P. tenuifolia* L. — включен в Красную книгу Российской Федерации, статус 2 б — вид, сокращающийся в численности [2]. *P. wittmanniana* Hartwiss ex Lindl. — включен в Красную книгу Российской Федерации, статус 1 — вид, находящийся под угрозой исчезновения [2].

Опыт по изучению влияния минеральных удобрений и регуляторов роста растений на семенную продуктивность видовых пионов проводился в 2012 г. на базе БСИ УНЦ РАН в следующих вариантах: 1. смесь удобрений: 65 г мочевины + 60 г суперфосфата + 50 г хлористого калия ( $N_{M65}P_{C60}K_{X50}$ ); 2. препарат «завязь» (действующее вещество — гиббереллиновых кислот натриевые соли — 5,5 г/кг), расход — 1,5 л/10 м<sup>2</sup>; 3. препарат «гетероауксин» 0,01 % водный раствор (д.в. — индолил-3-уксусной кислоты калиевая соль — 50 г/кг), расход — 1 л/10 м<sup>2</sup>; 4. «гетероауксин» + смесь удобрений:  $N_{M65}P_{C60}K_{X50}$ ; 5. препарат «фэтил» 0,0005 % водный раствор (д.в. — 5 - этил - 5 - гидроксиметил - 2 - (фурил - 2) - 1,3 - диоксан), расход — 1 л/10 м<sup>2</sup>; 6. «фэтил» + смесь удобрений:  $N_{M65}P_{C60}K_{X50}$ ; 7. без удобрений и ФАВ (контроль).

Опыт был заложен во II декаде мая. Объекты исследования — 5-летние кусты в фазе бутонизации. В каждом варианте обрабатывали по 30 растений. Смесь удобрений в сухом виде вносили однократно под каждый куст. Обработка регуляторами роста осуществлялась путем опрыскивания растений водными растворами соответствующих концентраций. Повторность опытов 3-кратная. Семенную продуктивность видов подсчитывали по общепринятым методическим разработкам: учитывали потенциальную (ПСП), реальную семенную продуктивность (РСП) и коэффициент продуктивности ( $K_{ПР}$ ) [3].

В лесостепной зоне Башкирского Предуралья семена пионов созревают в июле-августе (на 68—90 день после цветения). Сроки созревания зависят от особенностей вида, погодных условий и агрофона. Сбор семян начинают, когда вскрываются плоды (листочки), а семена приобретают светло-коричневую или темно-синюю окраску [5]. Анализ элементов семенной продуктивности изученных пионов показал, что уровень ПСП самый высокий у *P. tenuifolia* (750,3 шт./раст.), низкий — у *P. hybrida* (45,1). Самый высокий показатель РСП отмечен у *P. tenuifolia* (450,3 шт./раст.). Адаптивный потенциал дикорастущих пионов в условиях лесостепной зоны Башкирского Предуралья, судя по значениям коэффициента

продуктивности, полнее реализуется у *P. tenuifolia* ( $K_{\text{ПР}} \geq 60\%$ ). У *P. anomala* отмечены средние показатели ( $40\% < K_{\text{ПР}} < 60\%$ ). Минимальные значения этого параметра выявлены у *P. hybrida*, *P. wittmanniana* ( $K_{\text{ПР}} < 40\%$ ). За время наблюдений был отмечен единичный самосев у *P. anomala* и массовый самосев у *P. Tenuifolia* [4].

Установлено, что смесь удобрений оказала влияние только на *P. anomala*: у данного вида наблюдалось увеличение общего количества многолисточков на 1 растении. Кроме того, повысились показатели РСП в 1,5 раза. На другие виды удобрения существенного влияния на семенную продуктивность не оказали. Возможно, это связано с тем, что внесенная доза удобрений была избыточной для данных видов и вызвала активный рост зеленой массы в ущерб образованию бутонов и соответственно плодов. Необходимо проведение дополнительных опытов с целью выявления оптимальных доз удобрений.

Обработка препаратом «завязь» незначительно увеличила процент плодообразования (в 1,1—1,5 раза), РСП (в 1,1—1,3 раза) и  $K_{\text{ПР}}$  (в 1,1—1,2 раза) у всех изучаемых видов. Наиболее отзывчивым на обработку данным регулятором роста оказался *P. hybrida*.

Замечено, что при обработке растений «гетероауксином» повышаются показатели плодообразования (в 1,1—1,4 раза) и РСП (в 1,4—2,4 раза) у всех изученных видов. Это происходит в результате увеличения как общего количества многолисточков на каждом растении, так и количества семян в листовке. Но только у двух видов (*P. tenuifolia* и *P. anomala*) данный регулятор роста повысил показатели  $K_{\text{ПР}}$  (в 1,1—1,7 раза соответственно), что, связано с приближением показателей РСП к ПСП. В варианте «гетероауксин + смесь удобрений» увеличились показатели РСП у трех видов (*P. anomala*, *P. hybrida*, *P. wittmanniana*) в среднем в 1,2 раза по сравнению с контролем.

«ФЭтил» ингибировал процесс завязывания семян у *P. tenuifolia*. Однако у других видов данный регулятор роста незначительно увеличил показатели плодообразования (в среднем в 1,1 раза), кроме того у *P. anomala* и *P. hybrida* повысил  $K_{\text{ПР}}$  (в 1,1 раза) и РСП (в 1,1—1,2 раза). Полученные данные подтверждаются исследованиями других авторов, изучавших влияние «фэтила» на урожайность семенников цветочных культур [5].

В варианте «фэтил + смесь удобрений» существенного изменения семенной продуктивности пионов относительно контроля не выявлено. Возможно, это связано с тем, что подкормка растений удобрениями

изменяет их отзывчивость на регуляторы роста, что подтверждается результатами исследований других авторов [4]. В подобных условиях питания необходима коррекция доз или сроков применения регуляторов роста, а возможно, и отказ от их использования вообще.

Результат воздействия регуляторов роста существенным образом зависит от видовых особенностей пионов. Например, выявлено, что самым отзывчивым на внесение удобрений и обработку регуляторами роста является *P. anomala*. У данного вида в пяти вариантах опытов повысились показатели семенной продуктивности в 1,1—2,1 раза. *P. tenuifolia* оказался самым консервативным видом: только в двух вариантах наблюдалось повышение показателей семенной продуктивности в 1,1—2,4 раза. Следовательно, для каждого вида необходим подбор индивидуальных регуляторов роста растений и оптимальных условий их использования.

Таким образом, выявлена положительная отзывчивость *P. anomala*, *P. hybrida*, *P. wittmanniana*, *P. tenuifolia* на обработку регуляторами роста растений (гетероауксин, фэтил, гиббереллиновых кислот натриевые соли) и подкормку комплексными минеральными удобрениями ( $N_{M65}P_{C60}K_{X50}$ ). Наиболее эффективным оказался «гетероауксин» (при опрыскивании 0,01 % раствором реальная семенная продуктивность пионов повышалась в 1,4—2,4 раза). Самым отзывчивым на внесение удобрений и обработку ФАВ оказался *P. anomala*.

### Список литературы:

1. Красная книга Республики Башкортостан (объединенный том) / Под общ. ред. А.А. Фахутдинова. Уфа: Полипак, 2007. — С. 129.
2. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Сост. Р.В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. — 855 с.
3. Реут А.А. Семенная продуктивность дикорастущих пионов и способы ее повышения // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. — 2011. — № 3 (98). — Вып. 14/1. — С. 134—140.
4. Реут А.А., Миронова Л.Н. Влияние регуляторов роста растений на семенную продуктивность пионов, культивируемых в Башкирском Предуралье // Агрохимия. — 2012. — № 2. — С. 53—58.
5. Реут А.А., Миронова Л.Н. Семенная продуктивность пионов при культивировании в Башкирском Предуралье и способы её повышения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. — 2011. — № 2. — С. 79—81.



## АНАТОМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТИМЬЯНА СТЕПНОГО ИЗ КАЗАХСТАНА

***Ишмуратова Маргарита Юлаевна***

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

***Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы***

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

## ANATOMICAL STRUCTURE OF THE AERIAL PARTS OF THYMUS STEPPUSUS FROM KAZAKHSTAN

***Ishmuratova Margarita Yulaevna***

*candidate of Biol. Sciences, Assistant Professor of Pharmaceutical Sciences  
Karaganda University "Bolashak",  
Republik of Kazakhstan, Karaganda*

***Suleimen Yerlan Melsuly***

*candidate of Chem. Science, PhD, Director of the Institute of Applied  
Chemistry, Associate Professor of Chemistry  
Department of L.N. Gumilev ENU,  
Republik of Kazakhstan, Astana*

### АННОТАЦИЯ

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья *Thymus stepposus* (тимьян степной) проведено изучение его анатомического строения.

### ABSTRACT

In order to standardize and structure identification on microlevels of valuable plant material *Thymus stepposus* a study of their anatomy was conducted.

**Ключевые слова:** анатомическое строение; *Thymus stepposus*.  
**Keywords:** anatomical structure; *Thymus stepposus*.

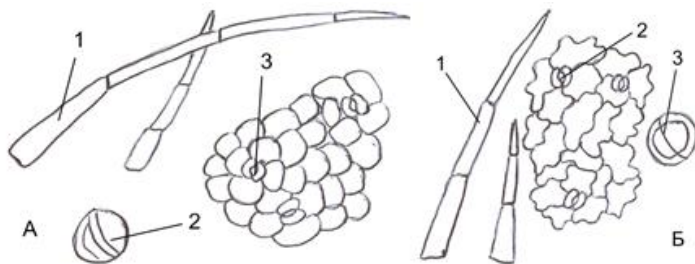
*Thymus stepposa* Klokov & Des.-Shost. (тимьян степной) — юго-восточно-европейско-среднеазиатский вид степной зоны [1].

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья *Thymus stepposus* (тимьян степной) проведено изучение его анатомического строения.

**Материалы и методы.** Заготовку сырья тимьяна степного проводили в 2—3 декадах июня в фазе цветения в Корнеевских лесах (Бухар-Жырауский район Карагандинской области).

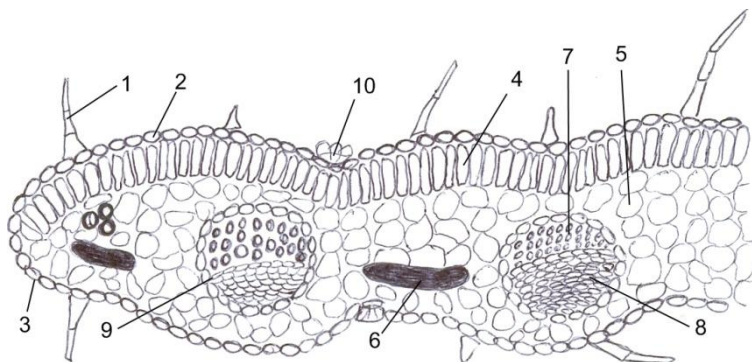
Исследовались надземные органы тимьяна (листья, стебли и соцветия). Воздушно-сухое сырье размачивали в горячей воде и размягчали в смеси глицерин-спирт-вода дистиллированная в соотношении 1:1:1 [3, 5], кипятили в 5 %-ном водном растворе гидроксида калия. Изготавливали поверхностные препараты и срезы вручную. Рисунки выполняли при помощи аппарата РА-4М. При описании анатомического строения использовали принципы, изложенные в трудах В.Н. Вехова, Л.И. Лотовой [2, 4].

**Микроскопия.** Клетки эпидермиса на верхней стороне листа мелкие, округлой формы, стенки прямые (рис. 1). На нижней стороне — крупнее по размеру, с извилистыми стенками. Устьица аномоцитного типа, расположены с обеих сторон листа, преимущественно на нижней. Эфирно-масличные железки крупные, округлой формы, состоят из 8 клеток, расположенных в 2 ряда по 4 клетки.



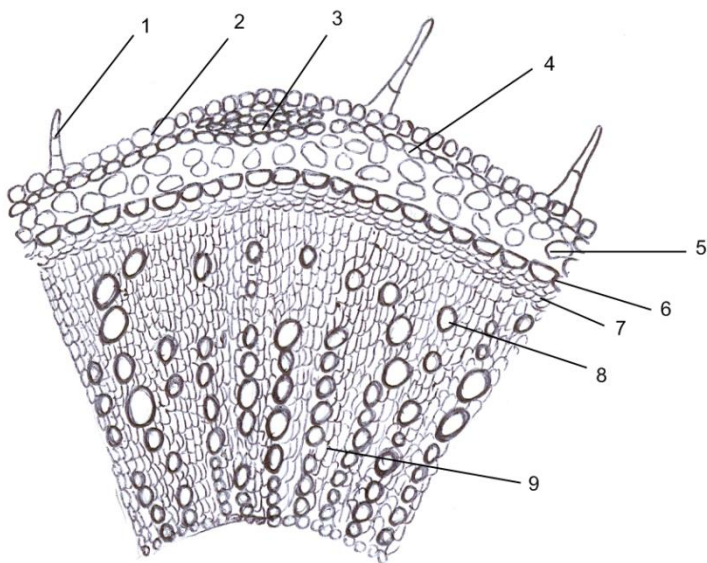
**Рисунок 1. Препарат листа тимьяна степного с поверхности.**  
**Ув. 15x40:** А — верхний эпидермис, Б — нижний эпидермис,  
1 — простые волоски, 2 — устьица,  
3 — эфирно-масличные железки

На поперечном срезе (рис. 2) лист изолатеральный, дорзо-вентрального строения. Клетки эпидермиса с верхней и нижней стороны овальной формы, тонкостенные. В эпидермисе располагаются утопленные эфирно-масличные железки. Мезофилл разделен на 1-слойную столбчатую и губчатую ткани. Проводящие пучки крупные, коллатеральные, открытого типа (ксилема сверху, флоэма снизу). В мякоти листа просматриваются удлиненные, темно-окрашенные схизогенные вместилища с эфирным маслом.



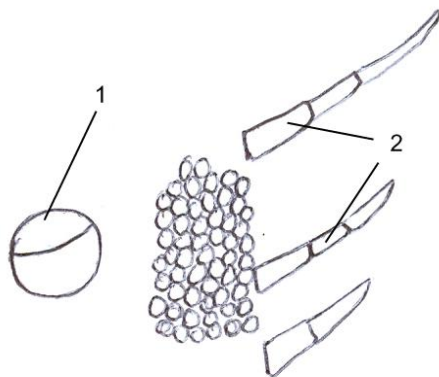
**Рисунок 2. Поперечный срез листа тимьяна степного. Ув. 15x40:**  
**1 — простые трихомы, 2 — верхний эпидермис, 3 — нижний эпидермис, 4 — столбчатый мезофилл, 5 — губчатый мезофилл, 6 — схизогенные вместилища, 7 — ксилема, 8 — флоэма, 9 — камбий, 10 — эфирно-масличные железки**

Стебель на поперечном срезе округло-неясно-четырёх-гранный (рис. 3), в центральной части полый. Клетки эпидермиса прямоугольной формы, толстенные. В углах залегают небольшие тяжи механической ткани колленхимы. По эпидермисом по периферии расположена 1-слойная хлоренхима, под которой отмечены рыхло расположенные клетки коровой паренхимы. Стеллярная часть не пучкового типа, отделена от коровой зоны слоем эндодермы. К эндодерме прилегает тонкий слой флоэмы, за которым следует значительная зона ксилемы, окруженной сердцевинной паренхимой.



**Рисунок 3. Участок поперечного среза стебля тимьяна степного:**  
**1 — простые трихомы, 2 — эпидермис, 3 — колленхима,**  
**4 — хлоренхима, 5 — коровая паренхима, 6 — эндодерма,**  
**7 — флоэма, 8 — ксилема, 9 — сердцевинная паренхима**

Эпидермис венчика цветка тимьяна степного (рис. 4) состоит из очень мелких, округлых клеток, плотно прилегающих друг к другу. По краю венчика просматриваются редкие простые трихомы. По эпидермису разбросаны многочисленные крупные округлые эфирно-масличные железы, имеющие тот же план строения, как и на эпидермисе листа.



**Рисунок 4. Эпидермис венчика цветка тимьяна степного.  
Ув. 15x40: 1 — эфирно-масличная железа, 2 — трихомы**

**Список литературы:**

1. Алиева М.Г. Систематика и география сосудистых растений. / XIII съезд русского ботанического общества, Тольятти. — 2013. — Том 2. — С. 3—83.
2. Вехов В.Н., Лотова Л.И., Филин В.Р. Практикум по анатомии и морфологии высших растений. М.: МГУ, 1980. — 560 с.
3. Долгова А.А., Ладыгина Е.Я. Руководство к практическим занятиям по фармакогнозии. М.: Медицина, 1977. — 255 с.
4. Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: КомКнига, 2007. — 512 с.
5. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высшая школа, 1960. — 206 с.

**АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ  
НАДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ  
ARTEMISIA MARSCHALLIANA  
И A. RUPESTRIS ИЗ КАЗАХСТАНА**

***Ишмуратова Маргарита Юлаевна***

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

***Сүлеймен Ерлан Мэлсұлы***

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

**ANATOMICAL STRUCTURE OF THE AERIAL PARTS  
OF ARTEMISIA MARSCHALLIANA  
AND A. RUPESTRIS FROM KAZAKHSTAN**

***Ishmuratova Margarita Yulaevna***

*candidate of Biol. Sciences, Assistant Professor of Pharmaceutical Sciences  
Karaganda University "Bolashak",  
Republik of Kazakhstan, Karaganda*

***Suleimen Yerlan Melsuly***

*candidate of Chem. Science, PhD,  
Director of the Institute of Applied Chemistry,  
Associate Professor of Chemistry Department of L.N. Gumilev ENU,  
Republik of Kazakhstan, Astana*

**АННОТАЦИЯ**

Для стандартизации и выявления микроскопического строения ценного растительного сырья *Artemisia marschalliana* Spreng. (полынь Маршалла) и *A. rupestris* L. (полынь каменная) проведено изучение их анатомического строения.

## ABSTRACT

In order to standardize and microscopically structure identification of valuable plant material *Artemisia marschalliana* Spreng. and *A. rupestris* L. a study of their anatomy was conducted.

**Ключевые слова:** анатомическое строение; *Artemisia marschalliana*; *A. rupestris*.

**Keywords:** anatomical structure; *Artemisia marschalliana*; *A. rupestris*.

*Artemisia marschalliana* Spreng. (полынь Маршалла) — обитает на остепненных лугах, в степи, сосновых борах, у дорог в Сибири и Дальнем Востоке, Европе, Кавказе, Казахстане [5]. Ранее нами методом хромато-масс-спектрометрии был исследован компонентный состав эфирного масла данного растения [9].

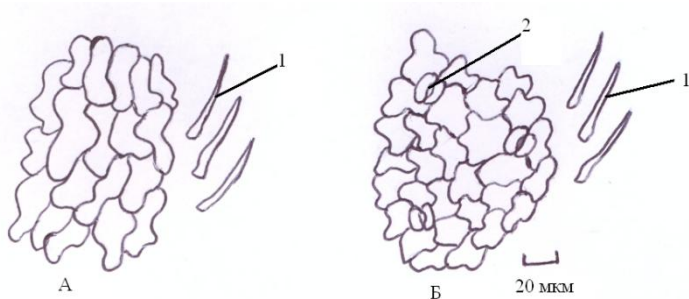
*Artemisia rupestris* L. (полынь каменная) — произрастает на солончаках и солонцеватых лугах, каменистых склонах в Сибири, Европе, Средней Азии [5]. Ранее также был исследован состав эфирного масла полыни скальной и его фунгицидная активность в отношении *Liposcelis bostrychophila* [8], выделена рупестониковая кислота, хризоспертин В [10] и хромоны [7].

Для стандартизации и выявления строения на микроуровнях ценного растительного сырья *A. marschalliana* и *A. rupestris* проведено изучение анатомического строения.

Объекты и общая методика исследований: исследовались надземные органы полыни (листья, стебли и соцветия). Воздушно-сухое сырье размачивали в горячей воде и размягчали в смеси глицерин-спирт-вода дистиллированная в соотношении 1:1:1 [2, 4], кипятили в 5 %-ном водном растворе гидроксида калия. Изготавливали поверхностные препараты и срезы вручную. Рисунки выполняли при помощи аппарата РА-4М. При описании анатомического строения использовали принципы, изложенные в трудах В.Н. Вехова, Л.И. Лотовой [1, 3].

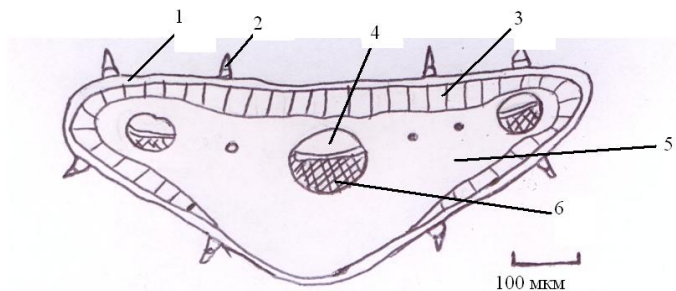
### Микроскопия *Artemisia marschalliana*.

Клетки верхнего и нижнего эпидермиса (рис. 1) листа извилисто-стенные, на нижней стороне меньше по размеру. Устьица мелкие, округлой или эллиптической формы, размещаются преимущественно на нижней стороне листа. Поверхность покрыта мелкими простыми трихомами, образующими сероватое опушение.



**Рисунок 1. Эпидермис верхней (А) и нижней (Б) стороны листа *Artemisia marschalliana*: 1 — простые трихомы, 2 — устьица**

На поперечном срезе (рис. 2) лист полыни имеет дорзо-вентральное строение. По периферии отмечены клетки эпидермиса с простыми трихомами. На верхней части под эпидермисом залегает столбчатый мезофилл, под нижней стороной — губчатый. В центральной части залегают сосудисто-волокнистые пучки, состоящие из ксилемы и флоэмы со склеренхимной обкладкой.

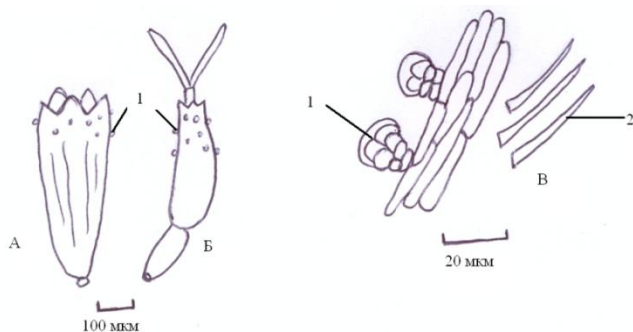


**Рисунок 2. Поперечный срез листа полыни *Artemisia marschalliana*: 1 — эпидермис, 2 — простые трихомы, 3 — столбчатый мезофилл, 4 — ксилема, 5 — губчатый мезофилл, 6 — флоэма**

Листочки обертки цветочных корзинок широко-овальной формы, травянистые (рис. 2). Эпидермис состоит из тонких прозенхимных клеток, поверхность покрыта приподнимающимися эфирно-масличными железами, состоящими из 8 клеток, расположенных в 2 ряда и 4 яруса. Трихомы редкие, Т-образные.



Цветки у полыни 2-х типов: пестичные краевые и центральные обоеполые. Пестичные цветки узко-бокальчатые; обоеполые воронковидные (рис. 3). Оба типа в верхней части имеют многочисленные эфирно-масличные железки, приподнимающиеся над поверхностью и незначительное опушение из простых трихом. Клетки венчика прозенхимные.



**Рисунок 3. Анатомическое строение венчиков цветков *Artemisia marschalliana*: А — пестичный цветок, Б — обоеполый цветок, В — участок эпидермиса венчика цветка, 1 — эфирно-масличная железка, 2 — простые трихомы**

Закключение. Таким образом, проведено исследование анатомического строения надземных органов полыни Маршалла. Характерными чертами строения являются: извилистостенные клетки эпидермиса листа, размещение устьиц только на нижней стороне листа, простые трихомы на эпидермиса листа и венчика цветков.

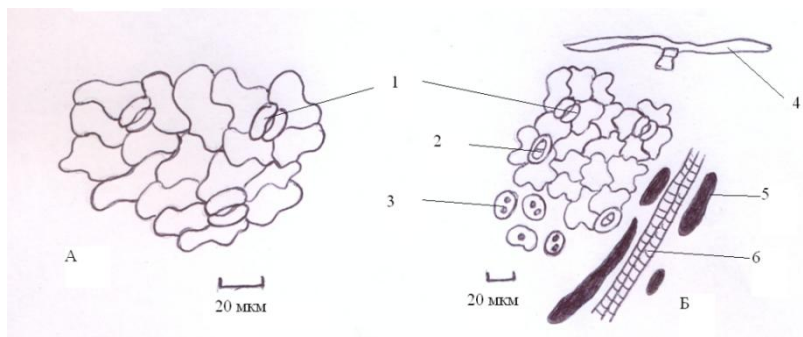
Микроскопия *Artemisia rupestris*.

Объектами исследований являлись надземные органы *Artemisia rupestris*, собранные в горах Кент в фазе бутонизации — начале цветения (2 декада июля 2012 г.).

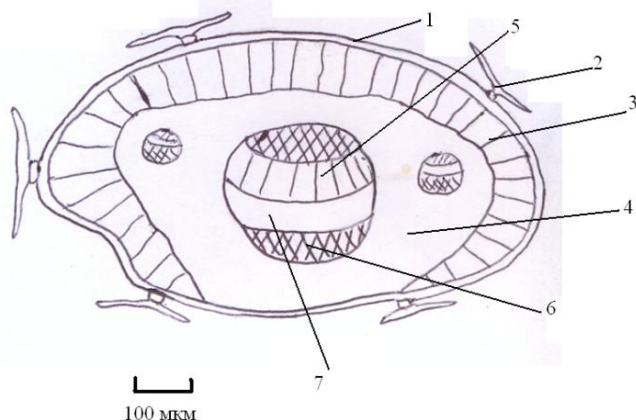
Клетки верхнего эпидермиса (рис. 4) крупные, слабо-извилистостенные с крупными многочисленными устьицами. Поверхность эпидермальных клеток покрыта слоем кутикулы, образующей складки вокруг устьиц.

Клетки эпидермиса нижней стороны листа более мелкие, сильно-извилистостенные. Устьица мелкие, многочисленные. Хорошо выражены эфирно-масличные железки овальной формы. Под эпидермисом просвечиваются округлые неспециализированные паренхимные клетки с каплями эфирного масла. Вдоль жилок листа под эпидермой

залегают удлиненные схизогенные вместилища с эфирным маслом. На нижней стороне листа имеют немногочисленные Т-образные волоски.



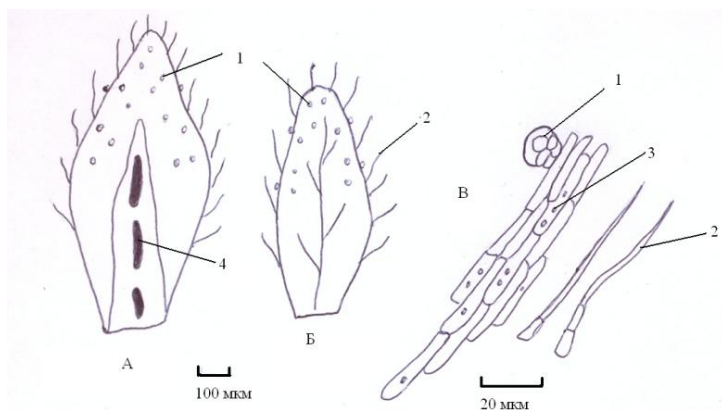
**Рисунок 4. Эпидермис верхней (А) и нижней (Б) стороны листа *Artemisia rupestris*: 1 — устьица, 2 — эфирно-масличные железы, 3 — неспециализированные паренхимные клетки с каплями эфирного масла, 4 — Т-образные волоски, 5 — схизогенные вместилища, 6 — жилка листа**



**Рисунок 5. Схема поперечного среза листа *Artemisia rupestris*: 1 — эпидермис, 2 — Т-образные трихомы, 3 — столбчатый мезофил, 4 — губчатый мезофил, 5 — ксилема, 6 — склеренхима, 7 — флоэма**

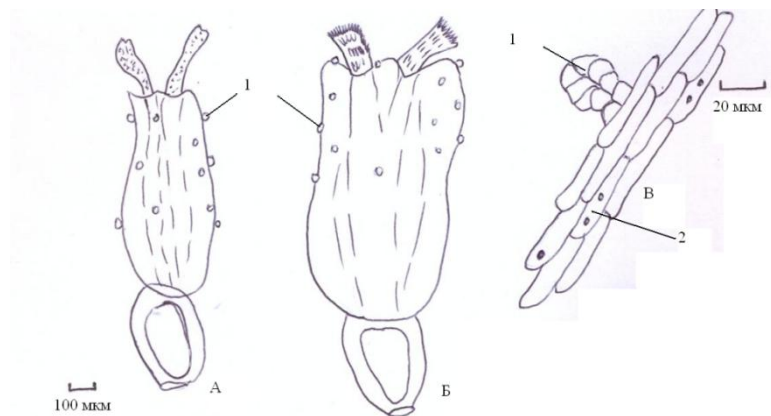
На поперечном срезе лист полыни каменной имеет дорзовентральное строение (рис. 5). По периферии проходит 1-слойный эпидермис с немногочисленным опушением в виде Т-образных волосков. С верхней стороны листа залегает 1-слойный столбчатый мезофил, с нижней стороны — губчатый. В центральной части размещены сосудисто-волокнистые пучки, состоящие из тяжа ксилемы (сверху) и флоэмы (снизу) и окаймленные с обеих сторон склеренхимой.

Листочки обертки имеют разную морфологию: наружные — широко-эллиптические, внутренние — эллиптические (рис. 6). Внутренние части — травянистые, края — пленчатые, опушенные простыми трихомами. Верхние части густо покрыты эфирно-масличными железами. Клетки эпидермиса прозенхимные, плотно-прилегающие друг к другу, в некоторых отмечены капли эфирного масла.



**Рисунок 6. Анатомическое строение листочков обертки *Artemisia rupestris*: А — наружные листочки обертки, Б — внутренние листочки обертки, В — участок эпидермиса края листочка обертки; 1 — эфирно-масличные железы, 2 — трихомы, 3 — эпидермальные клетки с каплями эфирного масла, 4 — схизогенные вместилища**

Цветки у полыни каменной 2-х типов: пестичные краевые и центральные обоеполые. Пестичные цветки мелкие, узковоронковидные, обоеполые крупные, широко-бокальчатые (рис. 7). Оба типа в верхней части имеют многочисленные эфирно-масличные железы, приподнимающиеся над поверхностью. Клетки венчика прозенхимные, отдельные элементы содержат капли эфирного масла.



**Рисунок 7. Анатомическое строение венчиков цветков *Artemisia rupestris*: А — пестичный цветок, Б — обоеполый цветок, В — участок эпидермиса венчика цветка, 1 — эфирно-масличная железа, 2 — эпидермальные клетки с каплями эфирного масла**

**Закключение.** Таким образом, проведено исследование анатомического строения надземных органов полыни каменной. Определено, что в качестве диагностических признаков сырья можно использовать форму клеток нижнего эпидермиса листа, наличие железок, Т-образные трихом и схизогенных вместилищ.

### **Список литературы:**

1. Вехов В.Н., Лотова Л.И., Филин В.Р. Практикум по анатомии и морфологии высших растений. М.: МГУ, 1980. — 560 с.
2. Долгова А.А., Ладыгина Е.Я. Руководство к практическим занятиям по фармакогнозии. М.: Медицина, 1977. — 255 с.
3. Лотова Л.И. Ботаника: Морфология и анатомия высших растений. М.: КомКнига, 2007. — 512 с.
4. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. М.: Высшая школа, 1960. — 206 с.
5. Флора Сибири. / Под редакцией И.М. Красноборова. М: Наука, — 1997. — Т. 13. — 472 с.
6. Ahmadi L., Mirza M., Shahmir F. The volatile constituents of *Artemisia marschaliana* Sprengel and its secretory elements. // *Flav. Fragr. J.* — 2002. — Vol. 17. — P. 141—143.
7. Haji Akber Aisa. A 2-phenoxychromone from *Artemisia rupestris* // *Химия природных соединений.* — 2006. — № 1. — С. 14—15.

8. Liu X.C., Li Y.P., Li H.Q., Deng Z.W., Zhou L., Liu Z.L., Du S.S. Identification of Repellent and Insecticidal Constituents of the Essential Oil of *Artemisia rupestris* L. aerial parts against *Liposcelis bostrychophila* Badonnel. // *Molecules*. — 2013. — Vol. 18(9). — P. 10733—10746.
9. Suleimenov E.M., Tkachev A.V., Adekenov S.M. Essential oil from Kazakhstan *Artemisia* species // *Chemistry of Natural Compounds*, — 2010 — Vol. 46. — № 1.
10. Yi Yang, Dongyu Gu, Abulimiti Yili, Yongxin Zhao, Dajun He, Haji Akber Aisa. One-step separation and purification of rupestonic acid and chrysospterin B from *Artemisia rupestris* L. by high-speed counter-current chromatography // *Phytochemical Analysis*, — 2010. — Vol. 21 (2). — P. 205—209.

## 4.2. ЗООЛОГИЯ

### ПРЕСНОВОДНЫЕ БЕНТОСНЫЕ РАКОВИННЫЕ АМЕБЫ ОЗЕРА БОЯРСКОЕ

*Иманкулова Евгения Анатольевна*

*студент биолого-химического факультета  
Томского государственного педагогического университета,  
РФ, г. Томск  
E-mail: [Kisiandra94@mail.ru](mailto:Kisiandra94@mail.ru)*

*Педуненко Елена Николаевна*

*студент биолого-химического факультета  
Томского государственного педагогического университета,  
РФ, г. Томск  
E-mail: [elena.pedunenko@yandex.ru](mailto:elena.pedunenko@yandex.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 FROM THE BOYARSKOE LAKE

*Eugeniia Imankulova*

student of Tomsk State Pedagogical University,  
Russia, Tomsk

*Elena Pedunenko*

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 летний период 2012—2013 гг. начато изучение видового состава раковинных амёб (*Testacealobosea Arcellinida*) небольшого водоёма в черте города Томска — озера Боярское. В литоральных донных отложениях озера обнаружено 16 видов бентосных тестацей родов *Arcella*, *Centropyxis*, *Diffflugia*, *Lesquereusia*. По обилию, встречаемости преобладали особи видов: *Arcella vulgaris*, *Centropyxis aculeata*, *C. orbicularis*, *Diffflugia corona*, *D. lithophila*, *D. globulosa*.

## ABSTRACT

In summer period 2012—2013 a study of the species composition of the testate amoebae (*Testacealobosea Arcellinida*) from a small waterbody in the Tomsk city line (lake Boyarskoe) was started. In the intertidal sediments of the lake there are 16 species of benthic Testacea genera *Arcella*, *Centropyxis*, *Diffflugia*, *Lesquereusia*. On abundance, occurrence dominated species were *Arcella vulgaris*, *Centropyxis aculeata*, *C. orbicularis*, *Diffflugia corona*, *D. lithophila*, *D. globulosa*.

**Ключевые слова:** раковинные амёбы; литоральные донные отложения; городское озеро Боярское.

**Keywords:** testate amoebae; intertidal sediments; city lake Boyarskoe.

Раковинные амёбы, встречаясь в самых разнообразных природных условиях: во влажных мхах, почвах, в том числе, в пресных водоемах, являются в основном агамными фаготрофными, одно-

и многоядерными протистами, образующими псевдоподии по типу лобоподий или филоподий [6, с. 10]. Раковинки амёб разнообразны по форме, консистенции и в систематике амёб играют основную роль. Причем, морфология раковинки зависит от уровня водности, глубины, очевидно, степени проточности местообитания амёб. Водные раковинные амёбы обычны и в толще вод водоемов, и среди водной растительности, но особенно обильны в составе донных отложений.

Положение амёб в системе организмов впервые было определено в конце 19 века, когда Бючли в своем учебнике протозоологии предложил первую систему простейших. В этой системе все амёбы были помещены в класс *Sarcodina* типа *Protozoa*. В настоящее время раковинные корненожки рассматриваются как гетерогенный полифилетический комплекс; отдельные группировки таксономически разобщены, хотя морфологически, экологически организмы сходны [6, с. 12]. Пресноводные формы раковинных амёб преимущественно известны в пределах типа *Lobosea* (*Testacealobosea* отряд *Arcellinida*) [2, с. 79].

Поскольку раковинные корненожки, благодаря разнообразию и массовости форм в водоемах, полноправные участники трофических цепей, несомненно, исследования по их разнообразию представляют теоретический и практический интерес. По мнению исследователей, характеристики структуры населения тестацей могут быть использованы как экологический индикатор условий, складывающихся в биотопе [6, с. 28], уровня трофности водоемов [3, с. 33].

Данные о разнообразии пресноводных форм тестацей территории Западной Сибири фрагментарны, имеют описательный характер, так как специально группа не исследовалась. Относительно немногочисленны исследования и по почвенным [1, с. 4], болотным [5, с. 3] формам тестацей региона.

В связи со слабой исследованностью группы, в летний период 2012 и 2013 гг. предпринято изучение состава видов раковинных амёб пойменного озера Боярское, — своеобразного небольшого водоёма в черте города Томска. Протяженность озера около 600 м, ширина около 70 м, площадь 42700 м<sup>2</sup> [4, с. 167]. Морфологически озеро подразделяется на два района: суженный южный и северный, расположенный под углом к первому. Прибрежная отмель в озере слабо развита, свал крутой. Температурный водный режим летом в озере имеет выраженную стратификацию. Растительность в озере довольно разнообразна (род *Carex*, *Phragmites communis*, *Scirpus lacustris*; *Spirodela polyrrhiza*; *Hydrocharis morsus-ranae*, *Nimphaea*



*candida*; *Ceratophyllum demersum*), но водная поверхность примерно на 80 % свободна.

Материал по тестацеям отбирался в прибрежье озера в июле 2012 и 2013 гг. Грунты в местах отбора проб плотные глинистые, с небольшими количествами песка, мелкого детрита и растительных остатков. Пробы донных отложений просмотрены под бинокулярным микроскопом при увеличениях 10x20 и 10x40. Обнаруженные раковинки тестацей фотографировались при помощи цифровой камеры “Olympus” для последующей видовой диагностики. Определение видов проведено по раковинкам амёб при помощи практического руководства [6, с. 48]. Просмотрено и определено не менее 100 экземпляров раковинок.

В донных отложениях литорали озера Боярское обнаружены крупные лобозные формы *Lobosea* (*Testacealobosea*) отряда *Arcellinida* Kent подотрядов: *Arcellina* Haeckel семейства *Arcellidae* Ehr.; *Diffugiina* Voevee семейств *Centropyxidae* Jung; *Diffugiidae* Wallich; *Lesquereusidae* Jung.

Отряд *Arcellinida* Kent. У представителей *Arcellina* раковинки полностью органические, гибкие. У *Arcellidae* симметрия раковинки радиальная, форма дисковидная, шапочковидная. Устье округлое, расположено в центре втянутой внутрь вентральной поверхности раковины.

В пробах из прибрежных донных отложений озера обнаружены особи видов рода *Arcella*: *A. vulgaris* Ehr. и *A. discoides* Ehr. У *A. vulgaris* раковинка относительно крупная, желто-коричневого цвета; полусферическая, в плане круглая. Этот представитель обычен в пресноводных водоемах и в озере Боярское в июле 2012 г. встречался массово. У *A. discoides* раковинка в плане тоже круглая, в профиль сильно уплощенная и вогнутая, желтоватого цвета. Вид образует ряд инфравидовых таксонов, которые сложно диагностируются.

Раковинка у представителей подотряда *Diffugiina* жесткая, покрыта минеральными частичками (ксеносомами).

У представителей семейства *Centropyxidae* форма раковинки округлая, эллиптическая; устье эксцентрично расположенное, овальное. Нами в озере были обнаружены представители 4 видов рода *Centropyxis* из числа относительно крупных по размеру. Многочисленны в пробах из озера были особи *C. aculeata* (Ehr.) Stein. Для этого вида характерна сильно уплощенная раковинка коричневого цвета, с редким ксеносомами. Задний край раковинки снабжен несколькими шипами. Особи видов *C. discoides* (Penard) Deflandre, *C. eornis* (Ehr.) Leidy обнаружены в донных отложениях озера

единично. *C. orbicularis* Deflandre — еще один массовый вид в озере. Раковинка этого вида в плане круглая, в профиль полусферическая; устье овальное, сдвинуто к краю. Покров раковинки — из ксеносом, на внешней части — более крупных.

Семейство *Diffugiidae* Wallich. Раковинки этих амёб по форме чаще грушевидные, шаровидные; покрыты минеральными частичками. Устье располагается терминально, чаще круглое. У представителей рода *Diffugia* раковинки могут быть по форме очень разнообразны, в поперечном сечении округлые, инкрустированы песчинками. В литоральной части озера Боярского обнаружены представители 9 видов амёб, с крупными по размеру раковинками. Раковинка у амёб *D. amphoralis* Cash, Hopkins прозрачная, короткогрушевидная; основание фундуса заострено в короткий вырост; построена из средних по размеру песчинок; устье окружено мелкими песчинками. Раковинка *D. acuminata* Ehrh. цилиндрическая, с шипом в основании фундуса; с грубой поверхностью. Особь амёбы *D. capreolata* Penard обнаружена в единственном экземпляре. Раковинка этого вида непрозрачная, грушевидная; покрыта среднего размера песчинками. На раковинке различима граница перехода фундуса в шейку. Раковинка *D. claviformis* Penard очень крупная грушевидная; покрыта крупными песчинками; основание фундуса заострено. Обнаружен вид в озере в единственном экземпляре. Раковинка у *D. corona* Wallich. бочонковидная, серая, непрозрачная; на основании фундуса располагаются 3 шипа. Очевидно это массовый вид в озере. Раковинка у *D. lithophila* (Penard) Gauthier-Lievre et Thomas яйцевидная; построена из мелких песчинок; устье окружено маленьким воротничком. Раковинка *D. globulosa* Dujardin сферическая, покрыта крупными песчинками, с грубой поверхностью. Массовый вид в озере. Раковинка *D. oblonga* Ehrh. грушевидная, с длинной шейкой. Раковинка у *D. urceolata* Carter овальная; устье окружено «воротничком».

Семейство *Lesquereusidae* Jung. У не диагностированного представителя рода *Lesquereusia* Schlumberger, — раковинка темного цвета, состоящая из расширенного фундуса и вытянутой асимметричной шейки; покрыта идиосомами. Обнаружен в единственном экземпляре.

Начатое в 2012 г. обследование озера Боярское показало наличие довольно разнообразной фауны раковинных амёб. Всего по результатам исследований в литоральных донных отложениях озера Боярское обнаружено 16 видов раковинных амёб родов *Arcella*, *Centropyxis*, *Diffugia*, *Lesquereusia*. Обитающие в озере виды амёб —

из числа обычных и массовых в бентосе лимнических водоемов [6, с. 5]. По обилию и встречаемости преобладали особи 6 видов: *Arcella vulgaris*, *Centropyxis aculeata*, *C. orbicularis*, *Diffflugia corona*, *D. lithophila*, *D. globulosa*.

### 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. Буруковский Р.Н. Зоология беспозвоночных: учебное пособие. СПб: Проспект Науки, 2010. — 960 с.
3. Дехтяр М.Н. Раковинные амёбы — индикаторы трофности водоема / Гидробиол. журн. — 1979. — Т. 15. — Вып. 1. — С. 33—39.
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 амёбы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. — 300 с.

### 4.3. ФИЗИОЛОГИЯ

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ГЕМОЦИТОВ HARPALUS DENEUS И CALATHUS FUSCIPES С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОРЕЛЬЕФА ИХ ПОВЕРХНОСТИ

*Гребцова Елена Александровна*

*аспирант НИУ БелГУ,*

*РФ, г. Белгород*

*E-mail: [shtirlitz009@mail.ru](mailto:shtirlitz009@mail.ru)*

#### DEFENING THE VOLUME OF HEMOCYTES OF HARPALUS DENEUS AND CALATHUS FUSCIPES CONSIDERING THEIR MICRORELIEF

*Grebtsova Elena*

*graduate student of Belgorod State University,*

*Russia, Belgorod*

#### АННОТАЦИЯ

Благодаря методу атомно-силовой микроскопии определены точные значения объемных показателей гемоцитов *Harpalus deneus* и *Calathus fuscipes* с учетом особенностей их микрорельефа. Проведен анализ амплитудных и функциональных параметров шероховатости поверхности в соответствии с международными стандартами.

#### ABSTRACT

Using the method of atomic-force microscopy we defined exact volume value of hemocytes of *Harpalus deneus* and *Calathus fuscipes* considering their microrelief. Also we analyzed amplitude and functional parameters of the surface roughness according to the ISO.

**Ключевые слова:** объем клеток; шероховатость поверхности гемоцитов.

**Keywords:** cell volume; surface roughness of hemocytes.

При изучении клеток исследователи в первую очередь обращают внимание на их морфометрические показатели. Для определения объема клеток обычно используется формула для измерения объема эллипсоида вращения:  $V = \frac{4}{3}\pi abc$ , где  $a, b$  и  $c$  — полуоси эллипсоида ( $\frac{1}{2}$  длины, ширины и высоты клетки) [1, с. 51; 2, с. 208; 5, с. 93]. При данном методе невозможно учесть особенности микрорельефа поверхности. Полученные данные могут оказаться меньше — при наличии на поверхности клеток выступов, или больше истинных — в случае преобладания впадин [3, с. 107].

Шероховатость поверхности, т. е. совокупность неровностей, образующих микрорельеф поверхности с относительно малыми шагами, является причиной того, что истинная площадь поверхности выше, чем геометрическая. Количественная оценка шероховатости поверхности мембран имеет важное практическое значение, так как позволяет выявить влияние гомогенности или гетерогенности поверхности на процессы захвата инородных объектов и устойчивость к гипоосмотическим нагрузкам [4, с. 153; 7, с. 559].

Учитывая параметры шероховатости, метод атомно-силовой микроскопии позволил точнее определить объем форменных элементов гемолимфы.

Цель данной работы — изучение возможности применения атомно-силовой микроскопии (АСМ) как метода определения параметров шероховатости поверхности гемцитов в соответствии с международными стандартами.

**Материалы и методы.** В исследовании были использованы представители двух видов семейства Carabidae: *Harpalus deneus* и *Calathus fuscipes*. Гемолимфу получали из разреза кончика антенн. Каплю гемолимфы помещали на стекло и делали мазки.

Исследования проведены с использованием сканирующего зондового микроскопа Интегра Вита NT-MDT в режиме атомно-силовой спектроскопии при наложении нагрузки в 25 локальных участках клеточной поверхности. Обработку полученных АСМ-изображений осуществляли с помощью программного обеспечения Imageanalysis 3.5.

Был проведен анализ следующих амплитудных среднестатистических параметров шероховатости поверхности в соответствии с международными стандартами (таблица 1): средняя квадратическая шероховатость  $Sq$  (nm); высота самого высокого пика  $Sp$  (nm); глубина самой глубокой впадины  $Sv$  (nm); асимметрия  $Ssk$  характеризует скошенность распределения профиля, когда один спад крутой,

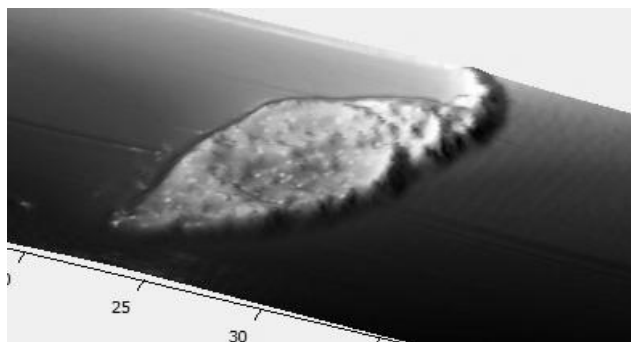
а другой — пологий; эксцесс  $Sku$  характеризует протяженность распределения профиля.

Так же были определены значения одного из функциональных параметров, характеризующих рельеф в локальной области и степень гладкости поверхности — плотность вершин (пиков)  $Sds$  ( $1/\mu m^2$ ). Данный показатель демонстрирует количество вершин на единицу площади, составляющих поверхность.

**Результаты.** Предварительно была проведена классификация гемоцитов с учетом их морфофункциональных особенностей [6, с. 116]. В гемолимфе исследуемых видов различают 2 постоянных типа форменных элементов: округлые гранулоциты, играющие основную роль в процессе фагоцитоза (рис. 1) и веретеновидные клетки (рис. 2).



*Рисунок 1. Гранулоцит*



*Рисунок 2. Веретеновидный гемоцит*

У большей части гемоцитов скошенность распределения профиля (Ssk) не превышает 0,5 и не опускается ниже  $-0,5$ , что говорит о приблизительно равном соотношении впадин и выступов плазматической мембраны. Величина эксцесса (Sku) находится в пределах от 0 до 3, следовательно, на поверхности клеток отсутствуют экстремальные пики и впадины. Увеличение значений этого параметра до 4 и больше может быть связано с явлением расплывания гемоцитов по подложке, началом выхода гранул из цитоплазмы и «проваливанием» ядра, что создает дополнительные перепады.

*Таблица 1.*

**Параметры микрорельефа поверхности гемоцитов  
*Harpalus deneus* и *Calathus fuscipes***

Параметр	Sq (nm)	Sp (nm)	Sv (nm)	Sku	Ssk	Sds ( $1/\mu\text{m}^2$ )
<i>Harpalus deneus</i>						
Гранулоциты	57,4±15,9	408,3±67,3	119,5±54,2	3,5±0,7	0,7±0,1	1,0±0,2
Веретеновидные гемоциты	69,5±22,5	498,9±43,1	137,5±59,1	3,3± 0,8	0,5± 0,1	0,7 ±0,3
<i>Calathus fuscipes</i>						
Гранулоциты	52,4±12,9	472,8±75,6	181,3±64,2	3,2±0,7	0,6±0,1	1,0±0,2
Веретеновидные гемоциты	54±8,8	418±45,4	156,9±86,3	2,8±0,4	0,4±0,1	1,1±0,2

Величина выступов мембраны на поверхности обоих типов форменных элементов гемолимфы варьирует в пределах 350—550 nm, в то время как глубина впадин обычно не превышает 200 nm. Наличие выступов мембраны указывает на то, что истинная площадь ее поверхности значительно превышает геометрическую. Данные выступы формируют мембранный резерв гемоцитов. Как видно из таблиц 1 и 2, на  $1 \mu\text{m}^2$  приходится в среднем 1 выступ. Минимальное число неровностей демонстрирует поверхность веретеновидных гемоцитов *H. deneus*, однако характеризующихся большей амплитудой выступов.

Анализ сканов, полученных с помощью АСМ, позволил определить объем фагоцитов с учетом их микрорельефа. Реальный объем гемоцитов оказался примерно в 1,2—1,5 раза меньше

показателя, рассчитанного с применением формулы определения объема эллипсоида вращения (таблица 2, 3).

**Таблица 2.**

**Сравнение объемного показателя гранулоцитов,  
рассчитанного через линейные параметры клеток (V 1)  
и с помощью метода ACM (V 2)**

№	Harpalus deneus		Calathus fuscipes	
	V 1 ( $\mu\text{m}^3$ )	V 2 ( $\mu\text{m}^3$ )	V1 ( $\mu\text{m}^3$ )	V2 ( $\mu\text{m}^3$ )
1	99,3	57,6	50,7	34,8
2	58,3	41,1	69,2	44
3	67,1	62,9	75,8	57,6
4	56,1	40	51,3	47,9
5	68,6	50,6	57,7	39,4
6	78,1	73,2	50,6	37
7	72,5	53,6	62,0	62
8	70,4	48	72,9	50,4
9	86,3	52,3	66,1	45,9
10	45,3	40,9	99,1	68,9

**Таблица 3.**

**Сравнение объемного показателя веретеновидных гемоцитов,  
рассчитанного через линейные параметры клеток (V 1)  
и с помощью метода ACM (V 2)**

	Harpalus deneus		Calathus fuscipes	
	V 1 ( $\mu\text{m}^3$ )	V 2 ( $\mu\text{m}^3$ )	V 1 ( $\mu\text{m}^3$ )	V 2 ( $\mu\text{m}^3$ )
1	78,9	55,4	61,3	39,6
2	93,2	57,5	68,4	42,8
3	66,6	46,3	61,4	46
4	102,1	58,2	100,1	74
5	74,8	45,9	91,6	72
6	76,8	69,1	52,8	35,4
7	90,3	78	39,5	31,5
8	62,7	45,4	48,3	38
9	41,6	33,7	50,5	35
10	55,2	35,5	72,9	50,4



### **Выводы:**

Благодаря использованию метода АСМ были определены параметры, характеризующие микрорельеф поверхности гемоцитов *Harpalus deneus* и *Calathus fuscipes*. Мембрана форменных элементов гемолимфы имеет многочисленные выступы и впадины. Минимальное число неровностей на единицу площади характерно для веретеновидных гемоцитов *H. deneus* и варьирует в пределах 0,4-1. Анализ АСМ-изображений с учетом полученных данных позволил точнее определить объем гемоцитов.

### **Список литературы:**

1. Гребцова Е.А., Присный А.А. Определение мембранного резерва гемоцитов *Periplaneta americana* и *Blaberus craniifer* и изучение влияния гипосмотической нагрузки на объем клеток // «Научные достижения биологии, химии, физики»: материалы международной заочной научно-практической конференции. Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов». 2012. — 114 с.
2. Присный А.А., Пигалева Т.А., Кулько С.В. Морфофункциональные особенности гемоцитов сухопутных брюхоногих моллюсков / Фундаментальные исследования. — 2011. — № 5. — С. 206—210.
3. Присный А.А. Фагоцитарная активность гемоцитов аннелид как один из путей достижения постоянства внутренней среды / В мире научных открытий. — 2012. — № 2 (26). — С. 106—109.
4. Присный А.А., Пигалева Т.А. Типология и функциональные особенности клеточных элементов внутренней среды обыкновенного земляного червя (*Lumbricus terrestris* L.) / Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. — 2012. — № 3 (122). Выпуск 18. — С. 151—154.
5. Присный А.А., Кулько С.В. Морфофункциональные особенности гемоцитов брюхоногого моллюска *Stenomphaliaravergieri* (Ferussac) / Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. — 2012. — № 9 (128). Выпуск 19. — С. 90—94.
6. Присный А.А., Гребцова Е.А. Морфофункциональные особенности иммунных клеток некоторых представителей отряда *Coleoptera* / Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. — 2012. — № 15 (134). Выпуск 20. — С. 115—118.
7. Трасатти С. Измерения истинной площади поверхности в электрохимии / С. Трасатти, О.А. Петрий // Электрохимия. — 1993. — Т. 29, — № 4. — С. 557—575.

#### 4.4. ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

##### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОПУЛЯЦИОННЫХ РЕАКЦИЙ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ

**Захаров Игорь Сергеевич**

*канд. техн. наук, доцент  
кафедры Инженерной защиты окружающей среды,  
Санкт-Петербургского государственного электротехнического  
университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [sergeich188@gmail.com](mailto:sergeich188@gmail.com)*

**Величко Анна Николаевна**

*аспирант кафедры Инженерной защиты окружающей среды,  
Санкт-Петербургского государственного электротехнического  
университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),  
РФ, г. Санкт-Петербург  
E-mail: [anveli@ro.ru](mailto:anveli@ro.ru)*

##### MATHEMATICAL MODELING OF POPULATION TEMPERATURE REACTION OF SIMPLES

**Igor Zakharov**

*d.Ph., assistant of professor, Environmental Protection Engineering  
department, Saint-Petersburg State Electrotechnical University,  
Russia, Saint-Petersburg*

**Anna Velichko**

*Postgraduate student, Environmental Protection Engineering department,  
Saint-Petersburg State Electrotechnical University,  
Russia, Saint-Petersburg*

## АННОТАЦИЯ

Цель — исследование термотаксиса одноклеточных организмов. Метод — моделирование движения популяции на базе метода клеточных автоматов и экспериментальная проверка адекватности модели. Результат — моделирование нескольких видов таксиса, получение графиков модельных распределений количества клеток по кювете, коррелирующих с полученными результатами обработки снимков термотаксиса инфузорий *P. caudatum*.

## ABSTRACT

Purpose — study of unicellular organism's thermotaxis. Method of modeling the movement of the population based on cellular automata method and experimental validation of the model. Result — modeling of several kinds of taxis, obtaining graphs model distributions number of cells on the cell correlated with the results of image processing thermotaxis ciliates *P. caudatum*.

**Ключевые слова:** модель; клеточные автоматы; термотаксис; инфузория.

**Keywords:** model; cellular automata; thermotaxis; ciliate.

Исследование термотаксиса одноклеточных и его математическое описание является важной проблемой естествознания. Современные исследования показали возможность обнаружения с помощью термотаксиса инфузорий вредных факторов в среде [4].

Его особенностью является перемещение организмов в зону комфортных температур [6]. Наиболее широко используется для изучения термотаксиса метод Гертера [5], основанный на выявлении диапазона комфортных температур при движении организмов в условиях температурного градиента.

Целью данной статьи является разработка метода моделирования термотаксиса одноклеточных, как реакции, отражающей процесс терморегуляции.

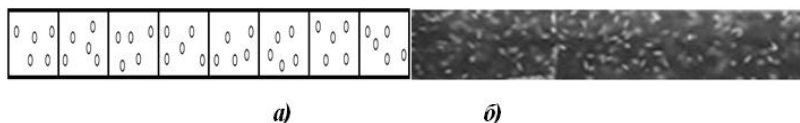
В задачи исследования входила разработка подхода к моделированию разновидностей популяционного движения организмов на базе модели клеточных автоматов и проверка ее адекватности в эксперименте при организации термотаксиса инфузорий *P. caudatum*.

Для математического описания термотаксиса была выбрана дискретная модель клеточных автоматов [1], которая нашла применение в разных областях естествознания. Клеточные модели используются для описания биологических процессов от возбудимой

среды распространения импульса в сердечных нервных узлах [3] до модели процесса образования из амёб-слизевиков плодового тела, которое движется по градиенту температуры [7], и формы сигналов, получаемых в результате перемещения популяции инфузорий при многократном изменении полярности напряжения на электродах [2].

Моделирование проводилось на основе результатов обработки цифровых снимков термотаксиса *P. caudatum*, полученных при различных расположениях зоны комфортных температур.

**Построение линейной рекуррентной клеточной модели.** Пусть зона перемещения популяции инфузорий состоит из  $n$  ячеек ( $Я_n$ ), в которых первоначально находится одинаковое количество частиц ( $N_{lk}$  — количество частиц в ячейке  $l$  при отсчете  $k$ , при  $k=1$   $N_{l1} = 150$ ), что моделирует равномерное распределение организмов в узкой протяженной кювете.



**Рисунок 1. Модель зоны перемещения популяции инфузорий, состоящая из 8 ячеек (а) и цифровой снимок слоя взвеси инфузорий *P. caudatum* в кювете (б)**

Частицы (моделирующие инфузорий) могут перемещаться из одних ячеек в другие через каждый отсчет времени, причем суммарное количество частиц остается постоянным. Зададимся значениями коэффициентов перехода в ячейках  $\alpha_{ij}$ , которые переходят из ячейки  $i$  в ячейку  $j$  при движении популяции (см. таблица 1). Их значения и знаки определяют скорость и направление движения частиц из одной ячейки в другую.

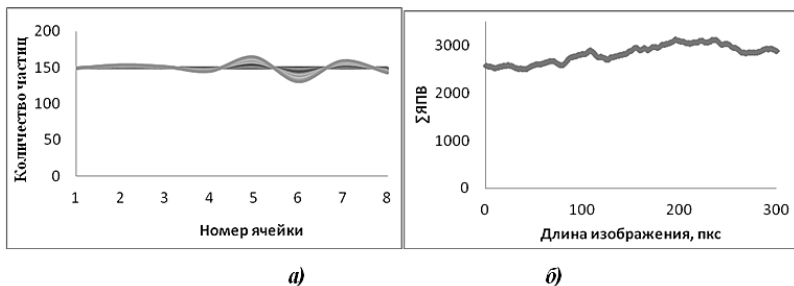
Таблица 1.

Описание модели

№ ячейки	Перемещение частиц	Математическое описание процесса
1.	Из Я <sub>1</sub> доля частиц уходит в Я <sub>2</sub> и приходит из Я <sub>2</sub>	$N_{11} - \alpha_{12}N_{11} + \alpha_{21}N_{21} = N_{12}$
2.	Из Я <sub>2</sub> доля частиц уходит в Я <sub>1</sub> и Я <sub>3</sub> и приходит из Я <sub>1</sub> и Я <sub>3</sub>	$N_{21} + \alpha_{12}N_{11} - \alpha_{21}N_{21} - \alpha_{23}N_{21} + \alpha_{32}N_{31} = N_{22}$
3.	Из Я <sub>3</sub> доля частиц уходит в Я <sub>2</sub> и Я <sub>4</sub> и приходит из Я <sub>2</sub> и Я <sub>4</sub>	$N_{31} + \alpha_{23}N_{21} - \alpha_{32}N_{31} - \alpha_{34}N_{32} + \alpha_{43}N_{41} = N_{32}$
4.	Из Я <sub>4</sub> доля частиц уходит в Я <sub>4</sub> и Я <sub>6</sub> и приходит из Я <sub>4</sub> и Я <sub>6</sub>	$N_{41} + \alpha_{34}N_{31} - \alpha_{43}N_{41} - \alpha_{45}N_{41} + \alpha_{54}N_{51} = N_{42}$
5.	Из клетки Я <sub>5</sub> доля частиц уходит в Я <sub>4</sub> и Я <sub>6</sub> и приходит из Я <sub>4</sub> и Я <sub>7</sub>	$N_{51} + \alpha_{45}N_{41} - \alpha_{54}N_{51} - \alpha_{56}N_{51} + \alpha_{65}N_{61} = N_{52}$
6.	Из клетки Я <sub>6</sub> доля частиц уходит в Я <sub>5</sub> и Я <sub>7</sub> и приходит из Я <sub>5</sub> и Я <sub>7</sub>	$N_{61} + \alpha_{56}N_{51} - \alpha_{65}N_{61} - \alpha_{67}N_{61} + \alpha_{76}N_{71} = N_{62}$
7.	Из клетки Я <sub>7</sub> доля частиц уходит в Я <sub>6</sub> и Я <sub>8</sub> и приходит из Я <sub>6</sub> и Я <sub>8</sub>	$N_{71} + \alpha_{67}N_{61} - \alpha_{76}N_{71} - \alpha_{78}N_{71} + \alpha_{87}N_{81} = N_{72}$
8.	Из клетки Я <sub>8</sub> доля частиц уходит в Я <sub>7</sub> и приходит из Я <sub>7</sub>	$N_{81} + \alpha_{78}N_{81} - \alpha_{87}N_{81} = N_{82}$
	Сумма частиц во всех ячейках постоянна	$\sum N_{ik} = \text{Const}$

**Моделирование ненаправленного движения частиц**

Значения коэффициентов перехода для картины популяции в контроле задавались методом имитационного моделирования, т. е. генерировались случайные числа с нормальным распределением со средним равным 0 и СКО = 0,005. При моделировании были получены графики распределения частиц по всем ячейкам (рисунок 2 а) с волнами, характерными для реальной картины распределений яркости вертикальных срезов ( $\Sigma$ ЯПВ) пикселей на снимке популяций инфузорий (рисунок 2 б) после усреднения методом скользящего среднего.

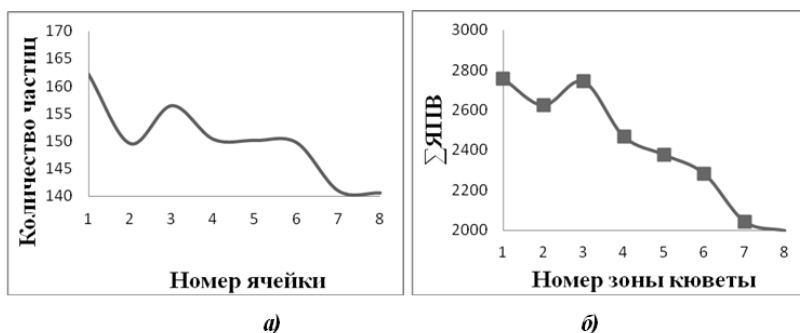


**Рисунок 2. Распределение частиц по ячейкам при отсутствии направленного перемещения (а) и распределения яркостей пикселей по слою инфузорий в кювете 40×5×10 мм (б)**

### Моделирование одностороннего движения частиц при зоне комфортной температуры в крайней ячейке

Коэффициенты перехода частиц из ячеек имеют значения  $\alpha_{ij} \neq \alpha_{ji}$ . В зависимости от того  $\alpha_{ij}$  больше или меньше  $\alpha_{ji}$ , изменяется направление движения. Последовательности зон 1—8 присваиваются значения температурного градиента от максимальной температуры в диапазоне толерантности до минимальной.

Модель отражает уменьшение частиц по зонам кюветы при увеличении количества частиц возле температурного источника с комфортной температурой, как и полученное в эксперименте распределение при движении *P. caudatum* в зону уменьшения температуры (от источника со льдом, слева).

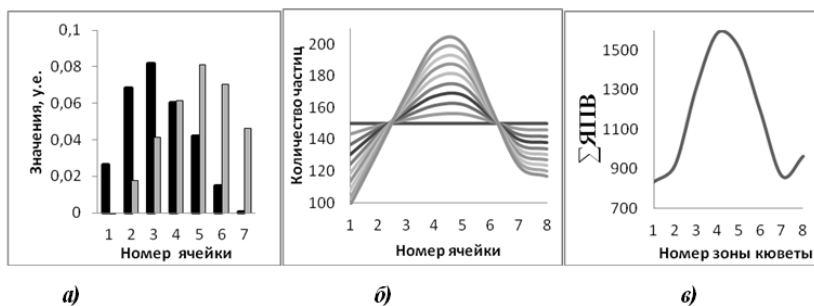


**Рисунок 3. Распределения частиц при движении в зону 1 (а) и яркостей пикселей снимка слоя инфузорий в кювете 40×5×10 мм при зоне комфортной температуры слева (б)**

Корреляция между результатами эксперимента и моделью составила 0.91 при параметрах  $\alpha_{ij}$  среднее=0,5, СКО=0,001, а для  $\alpha_{ji}$  среднее=0,2, СКО=0,001.

### **Моделирование двухстороннего направленного движения частиц при зоне комфортной температуры в центре**

Двухстороннее движение было промоделировано изменением значений коэффициентов перехода так, чтобы они представляли зеркальное отражение относительно центральной ячейки (рисунок 4 а). Подбор функции изменения коэффициентов с аддитивной добавкой случайной составляющей позволяет получить график распределения частиц по ячейкам (рисунок 4 б, где черные столбцы — коэффициенты  $\alpha_{ij}$ , серые —  $\alpha_{ji}$ ). Была получена высокая корреляция модельного распределения ( $r=0,94$ ) с полученным в эксперименте распределением яркостей пикселей вертикальных, в котором регистрировался термотаксис *P. caudatum* при расположении зоны комфортных температур в центре кюветы. (Цифровые изображения обработаны методом скользящего среднего).



**Рисунок 4. Коэффициенты перехода (а), модель распределения частиц по кювете (б) и сглаженный график распределения яркостей пикселей по вертикали (в)**

### **Заключение**

Разработанная математическая модель популяционных реакций одноклеточных позволила моделировать ненаправленное, одностороннее и двустороннее направленное движение организмов. Модель позволила анализировать как за счет изменения коэффициентов перехода групп одноклеточных организмов из одной зоны в другую меняется распределение количества клеток по кювете. Было показано, что для распределений популяции *P. caudatum* при термотаксисе, полученных после цифровой обработки его снимков, моделирование

позволяет получить с коэффициентом корреляции  $r=0,91\dots 0,94$  полиномы, описывающие распределение частиц по ячейкам, за счет подбора коэффициентов перехода частиц из ячеек.

Модель допускает усложнение условий движения популяции: формирование сложного движения, учет градиента фактора, стрессовых факторов, токсичности среды и др., которые влияют на движение популяции.

Разработанная модель может быть полезна для биологических исследований, а также для биотестирования качества среды.

### **Список литературы:**

1. Данилов Ю.А. Джон фон Нейман. М.: Знание, 1981. — С. 272.
2. Захаров И.С., Казанцева А.Г. Разработка и экспериментальная проверка математических моделей динамики гальванотаксиса инфузорий для биотестирования водных сред // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. — 2011. — Вып. 10. — С. 99—104.
3. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов, М.: «Мир», 1991.
4. Gordon C.J. Temperature and toxicology : an integrative, comparative, and environmental approach. // CRC Press, 2005. — P. 256—257.
5. Dr. Konrad Herter. Untersuchungen über den temperatursinn einiger insekten. // Ausdem zoologischen Institut der Universitat GSttlingen und dem zoologischen Institut der Universitüt Berlin. Germany. 1923. — P. 221—288.
6. Malvin G.M. et al. Nitric Oxide Production and Thermoregulation in Paramecium caudatum. — Acta Protozoologica — Internation Journal on Protistology. 2003. 42: 259—267.
7. Maree A.F.M., Panfilov A.V., Hogeweg P. Migration and Thermotaxis of Dictyoselium discoideum Slugs, a Model Study // Journal of theoretical Biology. — 1999. — № 199. — P. 297—309.



**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ  
ГЕРПЕТОБИОНТНЫХ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ  
(INSECTA, COLEOPTERA) В НЕКОТОРЫХ ЛОКАЛЬНЫХ  
ФАУНАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ ОРЕНБУРГА**

*Козьминых Владислав Олегович*

*д-р хим. наук, профессор, зав. кафедрой химии  
Пермского государственного  
гуманитарно-педагогического университета,  
РФ, г. Пермь  
E-mail: [kvoncstu@yahoo.com](mailto:kvoncstu@yahoo.com)*

**COMPARATIVE ECOLOGICAL DESCRIPTION  
OF HERPETOBIONT BEETLE COMMUNITIES  
(INSECTA, COLEOPTERA) IN SEVERAL LOCAL  
FAUNAE OF THE ORENBURG ENVIRONS**

*Vladislav O. Kozminykh*

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

*Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках  
Программы стратегического развития Пермского государственного  
гуманитарно-педагогического университета на 2012—2016 гг., грант  
№ Ф-025.*

**АННОТАЦИЯ**

Проведено сравнение таксономического состава сообществ, показателей средней динамической плотности и относительного обилия герпетобионтных жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) в трёх локальных фаунах эталонных степных ландшафтов Донгузской степи, природных комплексов «Гребени» и «Нежинка» в окрестностях Оренбурга.

**ABSTRACT**

The taxonomic structure of communities, average activity dynamics data and relative abundance of herpetobiont beetles (Insecta, Coleoptera) of three

local faunae in standard steppe landscapes of Donguz steppe, the Nature Territories "Grebni" and "Nezhinka" of the Orenburg environs are compared.

**Ключевые слова:** герпетобионтные жесткокрылые насекомые; Insecta; Coleoptera; таксономический состав; средняя динамическая плотность; относительное обилие; природные ландшафты Донгуз, Гребени, Нежинка; окрестности Оренбурга.

**Keywords:** herpetobiont beetles; Insecta; Coleoptera; taxonomic structure; average density dynamics; relative abundance; Nature Territories Donguz, Grebni, Nezhinka; Orenburg environs.

В Оренбургской области в последнее десятилетие осуществляются планомерные эколого-фаунистические исследования жесткокрылых насекомых (Insecta, Coleoptera) [4, 7, 10, 12, 19]. С целью анализа закономерностей изменения биоразнообразия проведено сравнительное изучение таксономического состава сообществ, определены показатели средней динамической плотности и относительного обилия герпетобионтных жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) в трёх локальных фаунах эталонных степных ландшафтов Донгузской степи, природных комплексов «Гребени» и «Нежинка» в окрестностях Оренбурга. Полевой сбор беспозвоночных осуществляли с помощью почвенных пластиковых ловушек с диаметром отверстия 65—70 мм, расположенных в линиях по 10—60 ловушек в биоценозе и заполненных на треть солевым фиксатором — раствором хлорида натрия. При маршрутных переходах материал собирали также вручную. Количественные данные по разнообразию, составу семейств жесткокрылых и экологическим параметрам сообществ: средней динамической плотности (уловистости), обилию жесткокрылых с его экспертной оценкой по С.Ю. Грюнталю [3] приведены в таблице.

Природный заповедник «Донгузская степь» расположен в 20—25 км к югу от Оренбурга, относится к Общесыртовско-Предуральской степной провинции Оренбургской области и представляет собой обширный участок целинных ксерофитных разнотравно-типчаково-ковыльных степей на среднесуглинистых южных чернозёмных почвах [14, 15]. В 2007—2009 гг. изучался состав и экологическая структура населения жесткокрылых в нескольких типичных для Донгузской степи биоценозах: разнотравной луговой степи на южном и юго-восточном склонах холмов, типчаково-ковыльной и полынно-ковыльной степи с каменистыми склонами, на пологом участке правого песчаного берега реки Донгуз [8], всего собрано более 24000 экземпляров жуков, относящихся к 29 основным семействам (см. табл.). Сведения о видовом составе жесткокрылых Донгузской степи приведены в работах [1, с. 6—9, 16—20].

Природный комплекс «Гребени» находится в подзоне северной степи Сакмаро-Предуральского округа Общесыртовско-Предуральской провинции степной зоны востока Европейской равнины [15]. Своеобразие этой территории выражается в островном холмисто-низкогорном рельефе. Гора Гребени возвышается на левобережье реки Сакмары в окрестностях посёлка Известковый в 12 км к северо-востоку от Оренбурга и является классическим геологическим объектом с разрезами уфимского и казанского ярусов поздней перми [13, 15]. Значительная часть северо-восточного склона Гребеней и надпойменной террасы Сакмары занята нагорным коренным липово-дубравным флористическим комплексом. В 2007—2009 гг. в Гребенях проводились энтомологические исследования в разнотравно-злаковой степи на северном склоне горы Гребени, на дубово-липовом участке коренного липового массива и во вторичном березняке надпойменной террасы Сакмары, собрано около 20000 экземпляров жесткокрылых, относящихся к 25 семействам (см. табл.). Краткие фаунистические данные по жесткокрылым Гребеней представлены в статьях [1, 2, 5—7, 9, 11, 16, 18—20].

Ландшафтный степной участок «Нежинка» находится в 8—10 км восточнее Оренбурга в окрестностях пригородного посёлка Нежинка. Рядом расположен объект геологических исследований — Нежинский карьер с залегающими породами кунгурского и казанского ярусов перми [13]. Изучение энтомофауны Нежинки проводилось в 2008 и 2009 гг. на нескольких участках разнотравной полынно-злаковой степи, всего собрано более 6000 экземпляров жесткокрылых из 22 семейств (см. табл.). В сообщениях [2, 9, 16, 18, 19] приведены некоторые виды жесткокрылых Нежинки.

Для сравнительного анализа состава и динамики локальных фаун выбраны популяционные параметры средней динамической плотности (СДП) и относительного обилия (О) семейств жесткокрылых, рассчитано количество доминантных и субдоминантных семейств, выделены ряды доминантов по обилию (табл.).

В сборах ловушками (всего учтено около 56000 ловушко-суток, собрано более 50000 имаго жуков) в трёх локальных энтомофаунах доминируют от 3 до 7 семейств жесткокрылых-герпетобрионтов. Из них наиболее многочисленными являются чернотелки (Tenebrionidae, относительное обилие от 28 до 44 %) и жужелицы (семейство Carabidae, обилие от 13 до 42 %). Эти два таксона вместе с 7—10 остальными преобладающими семействами (Curculionidae, Staphylinidae, Scarabaeidae, Histeridae, Silphidae, Elateridae, Dermestidae, Anthicidae, Chrysomelidae и Cerambycidae), активными на поверхности почвы, выполняют основную роль в степных биоценозах. При переходе от аридных участков степей Донгуза и Нежинки к более мезофильным станциям Гребеней вклад

долгоносиков (Curculionidae, обилие около 12 % для Донгуза и Нежинки) в динамику сообществ значительно уменьшается (около 4 % в Гребенях), а в составе доминантов появляются стафилины (Staphylinidae, обилие около 8 %). Общее численное обилие доминантов и субдоминантов во всех биоценозах изученных локальных фаун составляет 94—98 %. Перечисленные семейства жуков являются эталонными группами при расчётах сравнительных показателей активности герпетобионтов. Средняя динамическая плотность (СДП) популяций жесткокрылых во всех биоценозах довольно высокая и составляет от 71 до 115 экземпляров на 100 ловушко-суток.

*Таблица 1.*

**Показатели средней динамической плотности и относительного обилия жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) в некоторых локальных фаунах окрестностей Оренбурга**

Семейства жесткокрылых и некоторые расчётные параметры	Экологические параметры популяций жесткокрылых: СДП (экз. / 100 лов.-суток), О (%) и экспертная оценка обилия (Э) в ЛФ								
	Донгуз			Гребени			Нежинка		
	СДП	О	Э	СДП	О	Э	СДП	О	Э
Dytiscidae	– (PC)	0,004	Е						
Carabidae	13,46	14,38	Д	30,92	42,03	Д	14,49	12,63	Д
Helophoridae	0,004	0,004	Е						
Hydrophilidae	0,07	0,10	Р	0,004	0,005	Е	0,20	0,18	Р
Histeridae	3,83	5,06	Д	2,00	2,71	С	5,45	4,75	С
Leiodidae	0,02	0,02	Е	0,06	0,08	Р			
Silphidae	0,99	1,02	С	3,04	4,13	С	1,01	0,88	Р
Staphylinidae	3,63	4,09	С	5,57	7,78	Д	0,84	0,74	Р
Pselaphidae	0,01	0,01	Е						
Scarabaeidae <sup>1</sup>	6,22	9,30	Д	1,93	2,62	С	13,87	12,09	Д
Byrrhidae	0,06	0,06	Р	0,02	0,03	Р	0,11	0,10	Р
Buprestidae	0,15	0,18	Р	0,15	0,20	Р	0,77	0,67	Р
Elateridae	12,31	12,15	Д	1,11	1,50	С	3,28	2,86	С
Cantharidae	0,004	0,004	Е	0,004	0,005	Е			
Dermestidae	2,43	2,42	С	1,57	2,13	С	2,86	2,49	С
Ptinidae	0,05	0,05	Р	0,02	0,03	Р	0,26	0,22	Р
Malachiidae	0,09	0,09	Р	0,004	0,005	Е			
Nitidulidae	0,14	0,14	Р	0,07	0,10	Р	0,77	0,67	Р
Cryptophagidae	0,08	0,10	Р	0,05	0,07	Р	0,04	0,03	Р
Coccinellidae	0,21	0,24	Р	0,25	0,35	Р	0,33	0,29	Р
Latridiidae	0,01	0,01	Е						
Mordellidae	0,02	0,02	Е	0,05	0,07	Р	0,64	0,56	Р
Tenebrionidae <sup>2</sup>	28,35	29,94	Д	20,36	27,87	Д	50,68	44,18	Д

Meloidae	0,36	0,55	P	0,17	0,23	P	1,71	1,49	C
Anthicidae	5,15	5,06	Д	0,13	0,18	P	0,17	0,14	P
Cerambycidae	0,28	0,43	P	1,08	1,46	C	0,55	0,48	P
Bruchidae	0,07	0,29	P	0,03	0,04	P	0,59	0,51	P
Chrysomelidae	1,57	1,96	C	1,05	1,43	C	2,26	1,97	C
Curculionidae <sup>3</sup>	11,79	12,08	Д	2,73	3,95	C	13,37	11,66	Д
Прочие Coleoptera	0,16	0,24	P	0,73	0,99	P	0,48	0,42	P
Coleoptera larvae	2,79	–	–	3,64	–	–	4,07	–	–
Количество семейств Coleoptera	29			25			22		
Количество экз. Coleoptera	24208			19688			6254		
Общее количество экз. Coleoptera	50150								
Количество ловушко-суток	23616			26739			5452		
Общее количество ловушко-суток	55807								
СДП Coleoptera	91,40			70,71			114,71		
Средняя СДП Coleoptera в ЛФ	92,27								
<b>Основные биоценозы ЛФ</b>	<b>Разнотравно-ковыльная луговая степь, полынно-ковыльная степь, песчаный берег р. Донгуз</b>			<b>Разнотравно-злаковая степь, дубово-липовый лес, березняк</b>			<b>Разнотравная полынно-злаковая степь</b>		
<b>Сроки сборов</b>	<b>22.IV.—3.X. 2007; 9.IV.—29.X. 2008; 16.IV.—28.VI.—2009</b>			<b>20.IV.—7.X. 2007; 18.IV.—23.XI. 2008; 19.IV.—27.VI. 2009</b>			<b>13.IV.—2.XI. 2008; 3—16.V. 2009</b>		
<i>Итоговые данные по динамике и обилию преобладающих семейств жесткокрылых в ЛФ</i>									
Количество семейств с СДП > 5 экз. / 100 лов.-сут.	6			3			5		
Количество доминантных семейств с обилием > 5 %	7			3			4		

Ряды доминантов (приведены в порядке увеличения обилия)	Histeridae ~ Anthicidae < Scarabaeidae <sup>1</sup> < Curculionidae <sup>3</sup> < Elateridae < Carabidae < Tenebrionidae <sup>2</sup>	Staphylinidae < Tenebrionidae <sup>2</sup> < Carabidae	Curculionidae <sup>3</sup> ~ Scarabaeidae <sup>1</sup> ~ Carabidae < Tenebrionidae <sup>2</sup>
Обилие доминантов (Д), %	87,96	77,69	80,56
Общее количество доминантных и субдо- минантных семейств с обилием > 1 %	11	11	9
Общее обилие доминантов (Д) и субдоминантов (С), %	97,46	97,63	94,12

Примечания к таблице:

<sup>1</sup> Приведены данные в объёме надсемейства Scarabaeoidea, включая отдельные семейства Trogidae и Geotrupidae

<sup>2</sup> Семейство Tenebrionidae в широком смысле, включая подсемейства Lagriinae и Alleculinae

<sup>3</sup> Приведены данные в объёме надсемейства Curculionoidea, включая отдельные семейства Brentidae (= Apionidae) и Rhynchitidae

Условные обозначения в таблицах:

ЛФ — локальные фауны

О — обилие жесткокрылых (%)

ПЛ — сборы в почвенные ловушки

РС — ручные сборы

СДП — средняя динамическая плотность (экземпляров / 100 ловушко-суток)

Э — экспертная оценка обилия: Е — встречается единично: обилие менее 0,02 %, Р — встречается редко: обилие от 0,02 до 1 %, С — субдоминант: обилие от 1 до 5 %, Д — доминант: обилие более 5 % (по С.Ю. Грюнталю [3] с дополнениями — введён параметр «единично»)

Таким образом, на территории трёх локальных фаун — в степных ландшафтах Донгузской степи, Гребеней и Нежинки, находящихся в окрестностях Оренбурга, — изучены состав, структура населения и динамика активности основных семейств герпетобийных жесткокрылых (Insecta, Coleoptera). Выделены эталонные группы для учёта закономерностей распределения напочвенных жесткокрылых и расчётов показателей активности: чернотелки (Tenebrionidae) и жулики (Carabidae), преобладание которых в локалитетах является количественным.

## Список литературы:

1. Воронин А.Г., Русаков А.В. К фауне жужелиц (Coleoptera, Carabidae) Оренбургской области // Вестник Пермского ун-та. Вып. 5 (10). Биология. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2007. — С. 69—73.
2. Григорьев В.Е., Русаков А.В. Видовой состав подсемейства Galericinae (Chrysomelidae) Оренбургской области // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий. Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, — 2008. — Вып. 87. — С. 17—21.
3. Грюнталь С.Ю. Организация сообществ жужелиц (Coleoptera, Carabidae) лесов Восточно-Европейской (Русской) равнины. М.: Изд-во «Галлея-Принт», 2008. — 484 с.
4. Козьминых В.О. Дополнение к списку публикаций и материалы по разнообразию жесткокрылых насекомых (Insecta: Coleoptera) Оренбургской области // Вестник Оренбургского гос. педагогического ун-та. Электронный научный журнал. Оренбург: Изд-во ОГПУ, 2013. — Вып. 1 (5). — С. 12—28. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: [http://www.vestospu.ru/archive/2013/articles/kozminych\\_2013\\_1.pdf](http://www.vestospu.ru/archive/2013/articles/kozminych_2013_1.pdf) (дата обращения 8.12.2013).
5. Козьминых В.О. Новые находки жесткокрылых семейства Histeridae (Insecta: Coleoptera) в Оренбургской области и Западном Казахстане // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, 2006. — Вып. 5 — (55). — С. 114—119.
6. Козьминых В.О. Состав локальных фаун жесткокрылых семейства Histeridae (Insecta, Coleoptera) Оренбургской области // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий. Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, — 2008. — Вып. 87. — С. 59—63.
7. Козьминых В.О. Структура, распределение по биотопам и сравнительные показатели активности герпетобионтных жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) Оренбургской области: Донгузская степь, Гребени (по материалам 2007 года) // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, — 2008. — Вып. 5 (86). — С. 146—153.
8. Козьминых В.О. Структура сообществ, распределение по биоценозам и активность герпетобионтных жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) Донгузской степи (Оренбургская область) // Вестник Оренбургского гос. педагогического ун-та. Электронный научный журнал. Оренбург: Изд-во ОГПУ, — 2012. — Вып. 4 (4). — С. 1—9. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа. — URL: [http://vestospu.ru/archive/2012/stat/kozmin\\_2012\\_4.pdf](http://vestospu.ru/archive/2012/stat/kozmin_2012_4.pdf) (дата обращения 8.12.2013).
9. Козьминых В.О., Немков В.А., Русаков А.В., Шаповалов А.М., Казаков Е.П. Новые находки жесткокрылых семейства Histeridae (Insecta: Coleoptera) в Оренбургской области и Западном Казахстане. Сообщение 3 // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, — 2009. — Вып. 9 (103). — С. 83—99.

10. Козьминых В.О., Шаповалов А.М., Русаков А.В., Немков В.А. Библиографический список научных публикаций по жесткокрылым (Insecta, Coleoptera) Оренбургской области // Труды Оренбургского отделения Русского энтомологического общества. Вып. 1. Под ред. А.В. Русакова. Оренбург: Оренбургское отделение РЭО, 2011. — С. 5—38.
11. Легалов А.А., Пойрас А.А., Легалова С.Е., Шевнин Е.Ю. Особенности фауны долгоносикообразных жуков (Coleoptera, Curculionidea), связанных с дубом, в Южном Предуралье // Алтайский зоологический журнал. — 2007. — Вып. 1. — С. 37—38.
12. Немков В.А. Энтомофауна степного Приуралья (история формирования и изучения, состав, изменения, охрана). М.: Изд. дом «Университетская книга», 2011. — 316 с.
13. Тараборин Г.В., Демина Т.Я. Комплексное изучение осадочных толщ северной части Оренбургского Приуралья. Учебное пособие по полевой геологической практике. Оренбург: Изд-во ОГУ, 2004. — 112 с.
14. Чибилёв А.А. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Екатеринбург: Изд-во «Наука», 1992. — 172 с.
15. Чибилёв А.А. Природное наследие Оренбургской области. Оренбург: Оренбургское книжное изд-во, 1996. — 384 с.
16. Шаповалов А.М. Жуки-усачи (Coleoptera, Cerambycidae) Оренбургской области: фауна, распространение, бионмия // Труды Оренбургского отделения Русского энтомологического общества. Вып. 3. Оренбург: Оренбургское отделение РЭО, 2012. — 224 с.
17. Шаповалов А.М., Григорьев В.Е., Немков В.А., Русаков А.В., Казаков Е.П. Интересные находки жесткокрылых (Insecta, Coleoptera) в Оренбургской области // Труды Оренбургского отделения Русского энтомологического общества. Вып. 1. Под ред. А.В. Русакова. Оренбург: Оренбургское отделение РЭО, 2011. — С. 39—48.
18. Шаповалов А.М., Лагунов А.В., Немков В.А., Русаков А.В. Жуки-нарывники (Coleoptera, Meloidae) Южного Урала // Труды Оренбургского отделения Русского энтомологического общества. Вып. 1. Под ред. А.В. Русакова. Оренбург: Оренбургское отделение РЭО, 2011. — С. 80—99.
19. Шаповалов А.М., Немков В.А., Русаков А.В. Охраняемые жесткокрылые (Insecta, Coleoptera) Оренбургской области // Труды Оренбургского отделения Русского энтомологического общества. Вып. 1. Под ред. А.В. Русакова. Оренбург: Оренбургское отделение РЭО, 2011. — С. 49—79.
20. Шаповалов А.М., Немков В.А., Русаков А.В., Козьминых В.О. Новые данные по жесткокрылым (Insecta, Coleoptera) Урала (по материалам из Оренбургской области и Пермского края) // Вестник Оренбургского гос. ун-та. Оренбург: Изд-во ОГУ, — 2006. — Вып. 5 (55). — С. 107—113.



## **СЕКЦИЯ 5.**

### **ХИМИЯ**

#### **5.1. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

#### **ОТРАБОТКА УСЛОВИЙ ПРОБОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕВОМИЦЕТИНА В МЯСНЫХ ПРОДУКТАХ**

***Уланова Татьяна Сергеевна***

*д-р биол. наук, профессор, заведующий отделом  
химико-аналитических методов исследования  
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических  
технологий управления рисками здоровью населения»,  
РФ, г. Пермь  
E-mail: [Ulanova@fcrisk.ru](mailto:Ulanova@fcrisk.ru)*

***Карнажицкая Татьяна Дмитриевна***

*канд. биол. наук, заведующий лабораторией  
методов жидкостной хроматографии  
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических  
технологий управления рисками здоровью населения»,  
РФ, г. Пермь  
E-mail: [tdkarn@fcrisk.ru](mailto:tdkarn@fcrisk.ru)*

***Антипьева Марина Владимировна***

*канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории  
методов жидкостной хроматографии  
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических  
технологий управления рисками здоровью населения»,  
РФ, г. Пермь*

**Пшеничникова Екатерина Олеговна**

*химик лаборатории методов жидкостной хроматографии  
ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических  
технологий управления рисками здоровью населения»,  
РФ, г. Пермь*

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

## **ANALYSIS OF SAMPLE PREPARATION CONDITIONS FOR DETERMINATION OF CHLORAMPHENICOL IN MEAT PRODUCTS**

***Tatyana Ulanova***

*dr.Sci.Biol., professor, head of department of chemical analysis methods  
of Federal budget scientific institution “Federal scientific centre for  
medical and preventive health risk management technologies”,  
Russia, Perm*

***Tatyana Karnazhitskaya***

*candidate of Biology, head of the laboratory of a liquid chromatography  
of Federal budget scientific institution “Federal scientific centre for  
medical and preventive health risk management technologies”,  
Russia, Perm*

***Marina Antipeva***

*candidate of Biology, senior research associate of laboratory of a liquid  
chromatography of Federal budget scientific institution “Federal scientific  
centre for medical and preventive health risk management technologies”,  
Russia, Perm*

***Ekaterina Pshenichnikova***

*chemist of laboratory of a liquid chromatography  
of Federal budget scientific institution “Federal scientific centre for  
medical and preventive health risk management technologies”,  
Russia, Perm*

## АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследований по выбору оптимальных условий пробоподготовки для определения левомицетина (хлорамфеникола) в мясе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Изучена эффективность извлечения хлорамфеникола из мяса методами жидкостной и твердофазной экстракции. Установлено, что максимальная степень извлечения составляет 99,98 % и достигнута при использовании в качестве пробоподготовки жидкостной экстракции.

## ABSTRACT

This article describes analysis results of sample preparation conditions for determination of chloramphenicol residue in meat by LC/MS/MS method. Efficiency of extraction of chloramphenicol from meat is studied by methods of liquid and solid-phase extraction. The maximum extent of extraction is about 99,98 %. It is reached by using liquid extraction for sample preparation.

**Ключевые слова:** хлорамфеникол; мясо; жидкостная экстракция; твердофазная экстракция; высокоэффективная жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектированием.

**Keywords:** cloramphenicol; meat; liquid extraction; solid-phase extraction; liquid chromatography mass spectrometry.

Одной из задач современной аналитической химии является разработка селективных и высокочувствительных методик определения контаминантов в продуктах питания с целью оценки их влияния на здоровье населения. К числу загрязнителей пищевой продукции относятся ветеринарные препараты, в частности хлорамфеникол (левомицетин), представитель группы ароматических антибиотиков, широко используемый в ветеринарной практике для борьбы с инфекционными заболеваниями. Хлорамфеникол медленно выводится из организма животных и относительно долго сохраняет активность при хранении продуктов. При употреблении продуктов с остаточным содержанием хлорамфеникола в организме человека вырабатывается резистентность к антибиотику, может развиваться дисбактериоз, аллергические реакции, снижается иммунитет. В соответствии с СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов допустимый уровень остаточного содержания хлорамфеникола в продукции составляет 0,0003 мг/кг.

При разработке методики проведения анализа контаминантов в пищевых продуктах важное место занимает пробоподготовка, целью которой является наиболее полное извлечение следовых количеств аналита и эффективная очистка от компонентов биологической матрицы.

В статье представлены результаты исследований по выбору оптимальных условий пробоподготовки в ходе разработки методики определения левомицетина в мясных продуктах.

Экспериментальные исследования по отработке условий проводились на жидкостном хроматографе Agilent 1200 в сочетании с масс-спектрометрическим детектором с тройным квадруполем LC/MS 6460 Agilent Technologies в отработанных условиях выполнения анализа.

При выборе оптимальных условий подготовки проб к анализу для получения более точных результатов при проведении количественного анализа органических соединений необходимо учитывать влияние матричного эффекта, степень извлечения и погрешность подготовки проб к анализу, так как они могут в значительной степени повлиять на конечные результаты измерений [1]. С этой целью проведено сравнение эффективности экстракции антибиотика из образцов мясного фарша с использованием различных способов пробоподготовки.

В ходе проделанной работы был исследован 2 варианта пробоподготовки с использованием метода твердофазной экстракции с насыпными сорбентами. Пробоподготовка основана на методе “QuEChERS”, используемом для определения пестицидов и других контаминантов в продуктах питания.

В первом варианте к 10 г мясного фарша, с заданным содержанием левомицетина, добавляли 20 см<sup>3</sup> ацетонитрила и соли, в основном MgSO<sub>4</sub> и NaCl, используемые в качестве высаливателей.

Смесь интенсивно встряхивали, центрифугировали при скорости вращения 3000 об/мин. Надосадочный слой отбирали в чистую пробирку объемом 50 см<sup>3</sup> и чистили путем добавления в пробирку с экстрактом сорбента и соли MgSO<sub>4</sub>, интенсивно перемешивали в течение 1 минуты. Смесь центрифугировали в течение 1 мин со скоростью 3000 об/мин, верхний слой переносили в чистую пробирку, высушивали в токе воздуха при нагревании. Сухой остаток перерастворяли в 1 см<sup>3</sup> смеси ацетонитрил:вода (1:1), фильтровали через капроновый фильтр с диаметром пор 0,2 мкм и анализировали аликвоту объемом 10 мм<sup>3</sup> методом ВЭЖХ/МС.

Для расчета степени экстракции использовали характеристики, полученные для основного иона: площадь ( $S_{321} > 152$ ) и отношение сигнал/шум ( $SNR_{321} > 152$ ). Степень экстракции левомицетина составила 33 %.

В отличие от 1-го (безводного) варианта, исключающего присутствие воды, во 2-ом варианте экстракция протекала в водной среде. 2г мясного фарша, с заданным содержанием левомицетина, помещали в центрифужную пробирку вместимостью  $50 \text{ см}^3$ , к образцу добавляли дистиллированную воду ( $8\text{—}10 \text{ см}^3$ ). Смесь интенсивно встряхивали в течение 1 минуты, добавляли  $10 \text{ см}^3$  1 %-го раствора уксусной кислоты в ацетонитриле, интенсивно встряхивали в течение 5 минут, добавляли набор для ТФЭ с насыпным сорбентом для анализа мясных и молочных продуктов, встряхивали в течение 1 минуты и центрифугировали при скорости вращения 4000 об/мин. Надосадочный слой отбирали в чистую пробирку объемом  $15 \text{ см}^3$ , содержащую сорбент для очистки экстракта, интенсивно встряхивали в течение 2 минут, центрифугировали при скорости вращения 4000 об/мин. Верхний слой растворителя переносили в новую пробирку, высушивали в токе воздуха при температуре  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , перерастворяли в  $0,8 \text{ см}^3$  раствора метанол/вода/0,1 % уксусная кислота. Экстракт фильтровали через капроновый фильтр и анализировали в количестве  $10 \text{ мм}^3$  методом ВЭЖХ/МС. Степень экстракции хлорамфеникола из образцов мяса составляет 41,0 %.

Наиболее широко используемым приемом извлечения анализируемых веществ из биологических сред, в том числе продуктов питания, является экстракция [2]. Изучена эффективность извлечения левомицетина из мяса методом жидкостной экстракции с использованием в качестве экстрагента этилацетата. Процедура пробоподготовки заключалась в двойной экстракции 10 г мясного фарша, с заданным содержанием левомицетина, этилацетатом. Объединенные экстракты высушивали в токе воздуха на водяной бане до образования остатка в виде маслянистой капли. К остатку добавляли  $2 \text{ см}^3$  метанола,  $25 \text{ см}^3$  4 %-ного водного раствора хлорида натрия и  $20 \text{ см}^3$  гексана. Содержимое пробирки интенсивно встряхивали и центрифугировали в течение 5 мин со скоростью 3000 об/мин. Верхний (гексановый) слой отбрасывали и проводили повторную очистку гексаном. К оставшемуся раствору добавляли  $15 \text{ см}^3$  этилацетата, тщательно перемешивали, центрифугировали со скоростью 3000 об/мин. Верхний слой (слой этилацетата) переносили в чистую пробирку, проводили повторную жидкостную экстракцию этилацетатом. Объединенный экстракт высушивали досуха на водяной

бане при температуре 45 °С. Остаток растворяли в 1 см<sup>3</sup> смеси метанол:вода=1:1, фильтровали через капроновый фильтр и анализировали аликвоту объемом 10 мм<sup>3</sup> методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ/МС).

Степень экстракции левомицетина составила 99,98 %. Результаты анализа представлены в таблице 2.

С целью сравнения эффективности извлечения хлорамфеникола из мясных продуктов различными способами дополнительно проведены исследования по определению хлорамфеникола из продуктов животного происхождения согласно действующим методическим указаниям МУК 4.1.1912-04 «Определение остаточных количеств левомицетина (хлорамфеникола, хлормицетина) в продуктах животного происхождения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и иммуноферментного анализа».

10 г мясного фарша, с заданным содержанием левомицетина, гомогенизировали с 15 см<sup>3</sup> фосфатного буфера (0,025 М КН<sub>2</sub>Р<sub>0</sub><sub>4</sub> + 0,025 М Na<sub>2</sub>НР<sub>0</sub><sub>4</sub>) рН = 6,88 и экстрагировали 3 раза по 30 см<sup>3</sup> этилацетата. Полученную взвесь центрифугировали 15 мин при 4000 об./мин и декантировали этилацетатный слой, промывали последовательно 5 см<sup>3</sup> насыщенного раствора NaCl с добавлением 0,2 мл 10 %-ного NaOH; 5 мл насыщенного раствора NaCl с добавлением 0,2 мл 10 %-ного СН<sub>3</sub>СООН и 5 см<sup>3</sup> насыщенного раствора NaCl. Органический слой отбирали и упаривали на ротационном испарителе (при 50 °С) до возможно минимального объема, отдували азотом до исчезновения запаха органических растворителей, добавляли 3 см<sup>3</sup> смеси ацетонитрил:вода (1:4) и экстрагировали 3 раза 5 см<sup>3</sup> петролейного эфира, петролейный эфир отбрасывали и извлекали хлорамфеникол экстракцией этилацетатом (3 раза по 5 см<sup>3</sup>). Этилацетатный слой упаривали досуха, растворяли в 0,1 см<sup>3</sup> метанола и анализировали аликвотное количество раствора. Степень экстракции хлорамфеникола из образцов мяса составила 56,4 %.

Результаты исследований по определению эффективности извлечения хлорамфеникола методом жидкостной экстракции, твердофазной экстракции с насыпным сорбентом и по методическим указаниям МУК 4.1.1912-04 приведены в таблице 2.

*Таблица 2.*

**Сравнение эффективности способов извлечения хлорамфеникола из мясной матрицы**

№ п/п	Способ пробоподготовки	Степень извлечения с учетом матричного эффекта, %
1	Жидкостная экстракция этилацетатом и очистка экстракта гексаном	99,98
2	Твердофазная экстракция в нейтральной среде (1 вариант)	33,2
3	Твердофазная экстракция в кислой среде (2 вариант)	41,0
4	Экстракция этилацетатом и очистка экстракта петролейным эфиром	56,4

При сравнении полученных результатов установлено, что оптимальным способом экстракции хлорамфеникола из мясных продуктов является жидкостная экстракция с использованием в качестве растворителя-экстрагента этилацетата с последующей очисткой экстракта гексаном. В данном случае достигнута 100 %-ная экстракция хлорамфеникола с учетом матричного эффекта.

Таким образом, в ходе проведенных экспериментальных исследований отработан оптимальный способ подготовки проб мяса к анализу для определения левомицетина методом ВЭЖХ/МС, заключающийся в извлечении левомицетина из мяса жидкостной экстракцией этилацетатом и очисткой экстракта гексаном. Способ характеризуется высокой степенью извлечения, экспрессностью и простотой выполнения. Данный способ пробоподготовки может быть использован при разработке метода определения левомицетина в мясных продуктах.

**Список литературы:**

1. Онищенко Г.Г. Руководство «Контроль содержания химических соединений и элементов в биологических средах» / Н.В. Зайцева, Т.С. Уланова Пермь: Книжный формат, 2011. — 520 с.
2. Leo M.L. Nollet. Analysis of endocrine disrupting compounds in food. Blackwell Publishing Ltd, 2001. — 491 p.

## 5.2. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ $KCl-WO_3$

**Фаталиев Малик Бедалович**

*канд. хим. наук, доцент,  
Дагестанский государственный институт народного хозяйства,  
РФ, Республика Дагестан, г. Махачкала  
E-mail: [ego27@yandex.ru](mailto:ego27@yandex.ru)*

**Расулов Абутдин Исамутдинович**

*доцент, кандидат химических наук,  
Дагестанский государственный педагогический университет,  
РФ, Республика Дагестан, г. Махачкала  
E-mail: [abutdin.rasulov@mail.ru](mailto:abutdin.rasulov@mail.ru)*

### THERMAL ANALYSIS SYSTEM $KCl-WO_3$

**Fataliyev Malik Bedalovich**

*associate Professor, candidate of chemical Sciences,  
Dagestan state Institute of national economy,  
Russia, Republic of Dagestan, Mahachkala*

**Rasulov Abutdin Isamutdinovich**

*associate Professor, candidate of chemical Sciences,  
Dagestan state pedagogical University,  
Russia, Republic of Dagestan, Mahachkala*

### АННОТАЦИЯ

Впервые методами визуально-политермического (ВПА), дифференциального термического (ДТА) и синхронного термического (СТА) анализов изучены процессы фазообразования в системе  $KCl-WO_3$ . Определены характеристики неинвариантных точек (НВТ), очерчены поля кристаллизации и построена ее фазовая диаграмма. Выявлены новые фазы ( $19KCl \cdot WO_3$ ,  $6KCl \cdot WO_3$ ,  $KCl \cdot WO_3$ ) и приведены их характеристики.



## ABSTRACT

For the first time methods of visually-polythermal (WPA), differential thermal (DTA) and simultaneous thermal (STA) analyses studied the processes of phase formation in the system of KCl-WO<sub>3</sub>. Characteristics of nonvariantny mix (NRT), outlines the field of crystallization and built its phase diagram. Identified new phase (19KCl•WO<sub>3</sub>, 6KCl•WO<sub>3</sub>, KCl•WO<sub>3</sub>) and their characteristics are given.

**Ключевые слова:** фазовый комплекс; невариантные точки; расплавы; бронзы.

**Keywords:** phase complex; nonvariantny mix; melts; bronze.

Как известно, в основе решения одного из актуальных вопросов неорганической химии-разработки новых методов синтеза неорганических соединений на основе равновесных и неравновесных реакций лежит метод физико-химического анализа, основной «инструмент» которого — диаграмма плавкости.

Расплавы хлоридов щелочных металлов с оксидом вольфрама можно использовать как электролиты для получения порошков и изделий из вольфрама методом высокотемпературного электролиза [1—3], а образующиеся при этом нестехиометрические соединения типа «бронз» применяют для разработки новых неорганических материалов, которые обладают ценными физико-химическими свойствами [4].

В соответствии с этим, в настоящей работе представлен экспериментальный материал по термическому анализу двухкомпонентной оксидно-солевой системы KCl-WO<sub>3</sub>, результаты которого имеют значение для синтеза щелочных бронз из ионных расплавов вольфраматов щелочных металлов, находящихся широкое применение в различных областях науки и техники [5].

В качестве исходных веществ использовались перекристаллизованные и обезвоженные хлорид калия и оксид вольфрама марки «ЧДА», температуры плавления, которых хорошо согласуются со справочными данными [6—8].

Для решения поставленной в работе задачи использовались визуально-политермический (ВПА), дифференциальный термографический (ДТА) и синхронный термический (СТА) методы анализа [9].

Экспериментальные данные показали, что система KCl-WO<sub>3</sub> характеризуется хорошей растворимостью тугоплавкого оксида вольфрама и образованием соединений инконгруэнтного типа (рис. 1).

В системе выявлено наличие трех бинарных соединений и четырех невариантных точек (НВТ), три из которых перитектического и одна эвтектического характера (табл. 1). Состав эвтектики подтвержден СТА (рис. 2). Ликвидус системы представлен 5 полями кристаллизации, принадлежащих исходным компонентам и инконгруэнтно-плавящимся соединениям. На основе визуальных данных для полученных соединений определены характер плавления и кристаллизации (табл. 2.)

*Таблица 1.*

**Характеристики НВТ в системе KCl–WO<sub>3</sub>**

НВТ	t, °C	Состав в моль %		Кристаллизующиеся фазы
		KCl	WO <sub>3</sub>	
E	627	72	28	KCl•WO <sub>3</sub> , 6KCl•WO <sub>3</sub>
P <sub>1</sub>	737	96	4	KCl, 19KCl•WO <sub>3</sub>
P <sub>2</sub>	704	85	15	19KCl•WO <sub>3</sub> , 6KCl•WO <sub>3</sub>
P <sub>3</sub>	770	57	43	KCl•WO <sub>3</sub> , WO <sub>3</sub>

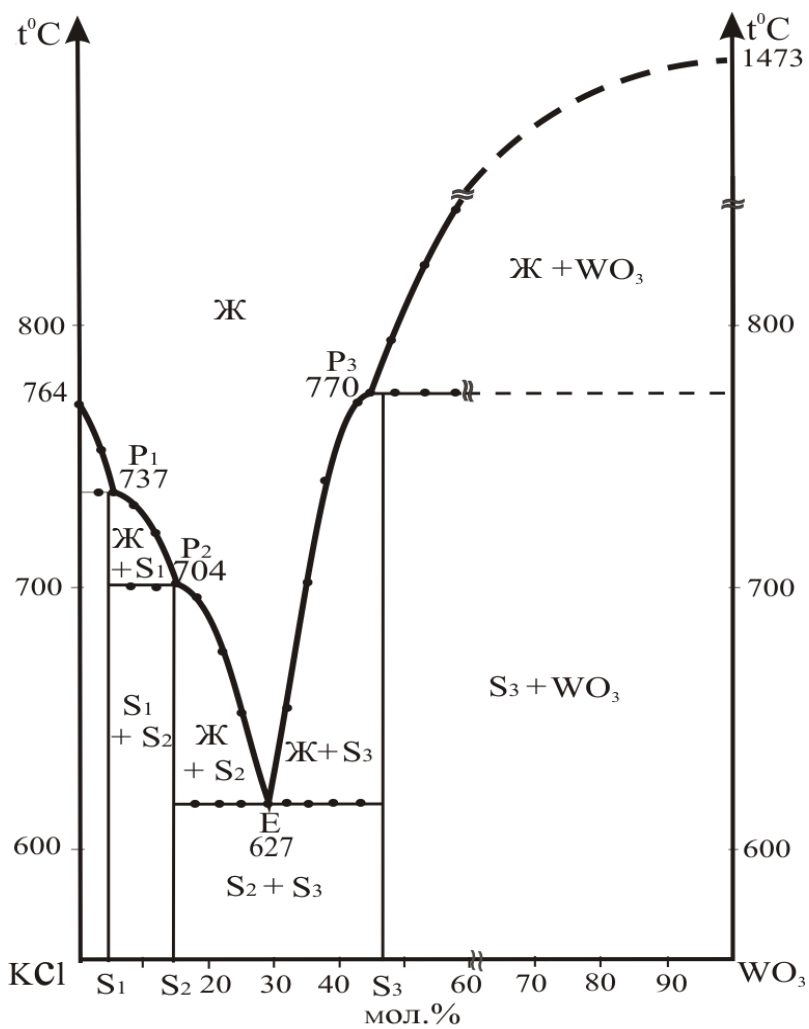
*Таблица 2.*

**Характеристики новых фаз, полученных в системах KCl–WO<sub>3</sub>**

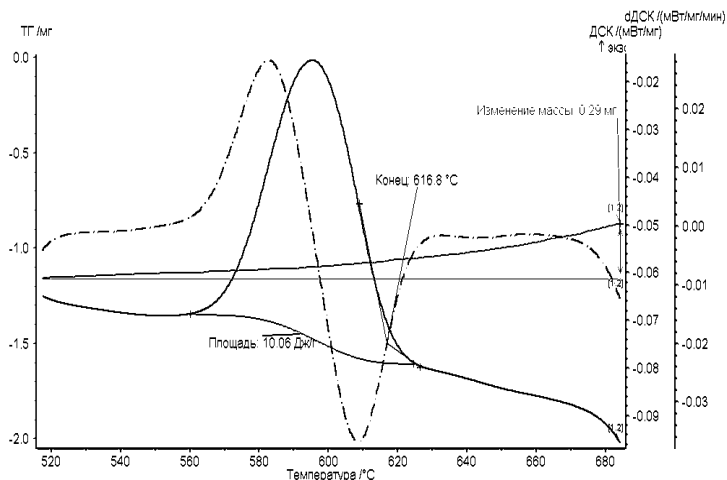
Новая фаза	Характер плавления	Характер кристаллизации	Цвет расплава	t, °C
19KCl•WO <sub>3</sub>	инконгруэнтный	внутренние	прозрачный	737
6KCl•WO <sub>3</sub>	инконгруэнтный	поверхностные	прозрачный	704
KCl•WO <sub>3</sub>	инконгруэнтный	Внутренние с образованием пленки	зеленоватый	770

Из расплавов данной системы при определенной температуре (620—780 °C) методом электрохимического осаждения образуются калий-вольфрамовые бронзы по схеме:  $2x\text{KCl} + 2\text{WO}_3 = 2\text{K}_x\text{WO}_3 + x\text{Cl}_2\uparrow$

Регулирование количества внедренного калия возможно за счет использования для электролиза расчетного соотношения исходных компонентов согласно фазовой диаграмме.



**Рисунок 1. Диаграмма плавкости системы  
KCl-WO<sub>3</sub>: S<sub>1</sub>-19KCl•WO<sub>3</sub>; S<sub>2</sub>-6KCl•WO<sub>3</sub>; S<sub>3</sub>-KCl•WO<sub>3</sub>**



**Рисунок 2. Дериwатогpамма эwтектического состава системы  $KCl-WO_3$**

### Список литературы:

1. Баlихин В.С., Резниченко В.А., Павловский В.А. Процессы получения и рафинирования тугоплавких металлов. М.: Наука, 1975. — 211 с.
2. Барабошкин А.Н., Молчанов А.М., Мартемьянова З.С., Виноградов-Жабров О.Н. Структура сплошных слоев вольфрама, электроосажденных из хлоридного расплава. Труды Ин-та электрохимии УНЦ АН СССР. Свердловск, — 1976, — Т. 23, — С. 46—51.
3. Гасаналиев А.М. и др. Применение расплавов в современной науке и технике. Деп. в ВИНТИ № 454 — хп 91.
4. Мохосоев М.В., Базарова Ж.Г. Сложные оксиды молибдена и вольфрама с элементами I—IV групп. М.: Высшая школа, 1990. — 256 с.
5. Мохосоев М.В. Химия редких элементов. Ч.1. Молибдаты и вольфраматы.-Донецк; 1971, — 81 с.
6. Мохосоев М.В., Алексеев Ф.П., Луцык В.И. Диаграммы состояния молибдатных и вольфраматных систем-Новосибирск: Наука, 1978, — 320 с.
7. Посыпайко В.И. и др. Диаграммы плавкости солевых систем. Ч. 1,2. М.: Металлургия, 1977, — 720 с.
8. Посыпайко В.И. и др. Диаграммы плавкости солевых систем. Ч. 3. М.: Металлургия, 1979, — 204 с.
9. Фаталиев М.Б. Фазовые равновесия и синтез бронз в системах  $MCl-M_2MoO_4-WO_3$  (M—Na,K,Rb,Cs). Дисс...канд. хим. наук. Махачкала: ДГПУ, 2011. — 125 с.

**СЕКЦИЯ 6.  
НАУКИ О ЗЕМЛЕ**

**6.1. ГЕОЭКОЛОГИЯ**

**СТРУКТУРА  
И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
СОВРЕМЕННОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ  
(НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

*Крыжевич (Мартынова) Мария Ивановна*

*канд. географических наук, доцент,  
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,  
РФ, г. Санкт-Петербург*

*E-mail: [maymars2277@gmail.com](mailto:maymars2277@gmail.com); [maymars@mail.ru](mailto:maymars@mail.ru)*

**PRESENT STRUCTURE AND WATER  
CONSUMPTION ENVIRONMENTAL PROBLEMS  
(FOR EXAMPLE ROSTOV REGION)**

*Maria Kryzhevich (Martynova)*

*associate professor, candidate of geographical sciences, senior researcher  
of Krylov State research center,  
Russia, St. Petersburg*

**АННОТАЦИЯ**

В работе представлены данные исследований, относящиеся к современным геоэкологическим проблемам водопользования одного из степных регионов России, где значительное место принадлежит сельскому хозяйству.

## ABSTRACT

This paper is devoted to investigation present data of water consumption environmental problems. Research area is one of the Russia steppe region and the agriculture is the main factor of territory water consumption.

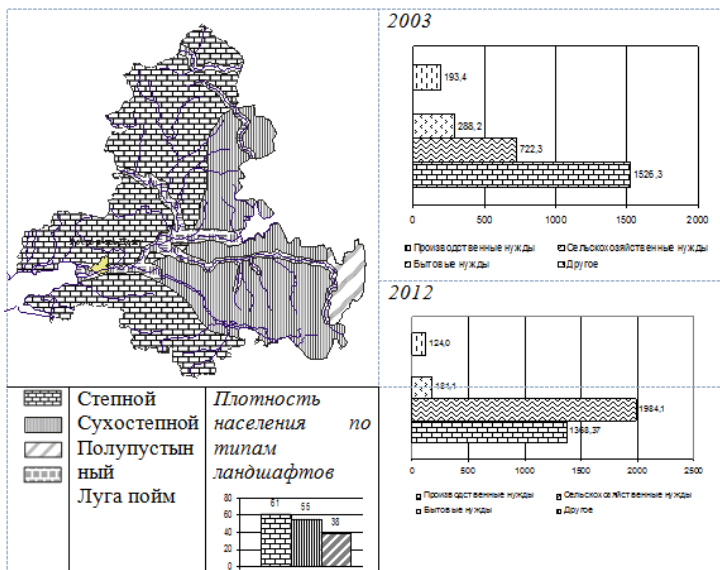
**Ключевые слова:** водопользование; питьевая вода; сточные воды; гидрографическая сеть; степной ландшафт; сельское хозяйство.

**Keywords:** water consumption; potable water; waste water; drainage network; steppe landscape; agriculture.

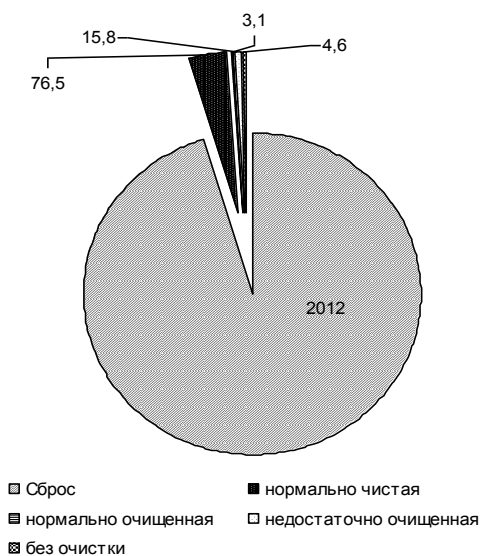
Обеспечение населения качественной питьевой водой — важнейшая проблема современности, она связана с ростом водопотребления, расширением источников водоснабжения, проникновением человека вглубь земной коры при качественном изменении свойств поверхностных водоисточников, часто износом коммуникаций, аварийными ситуациями.

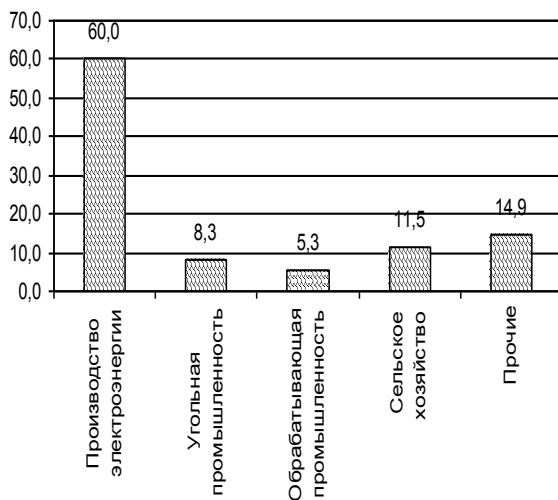
Юг степной зоны России ландшафтно неоднороден, что отражается на географии природных комплексов одной из областей региона — Ростовской. Положение в степной зоне определяет слабое развитие гидрографической сети, средний годовой сток составляет  $30 \text{ км}^3$  (слой стока уменьшается с 60 мм на севере и западе степного ландшафта до 10 мм и менее в полупустынном, рис. 1). Все поверхностные воды относятся к бассейну Азовского моря, густота речной сети составляет  $0,1\text{—}0,6 \text{ км/км}^2$  преобладают малые реки, лишь 11 % приходится на местный сток [3].

Структура водопотребления различается по регионам России, и зависит от природных и хозяйственных особенностей территорий. Ростовская область, как сельскохозяйственный регион, значимую часть воды потребляет на сельскохозяйственные нужды. Максимальные объемы водопотребления по бассейнам рек наблюдаются у Дона и Северского Донца, а наиболее водоемкие отрасли хозяйства — промышленное производство и орошение. За последние годы отмечается тенденция снижения водопотребления на производственные нужды и увеличение на орошение (рис. 1). Водозабор осуществляется в основном из поверхностных (более 97 %) источников, при этом велики потери воды при транспортировке.



**Рисунок 1. Ландшафты региона и особенности водопользования (по данным [5]; [3]; [4])**





**Рисунок 2. Сброс сточных вод (2012) и отрасли хозяйства, их производящие (по данным [4])**

**Таблица 1.**

**Структура сбрасываемых сточных вод по бассейнам некоторых рек, млн м<sup>3</sup> (по данным [2])**

<i>Бассейны рек</i>	<i>Всего</i>	<i>нормативно чистые</i>	<i>нормативно очищенные</i>	<i>недостаточно очищенные</i>	<i>без очистки</i>
р. Дон	1694,2	1306,7	52,169	204,54	130,82
р. Маныч	57,189	14,481	—	1,834	40,874
р. Сал	24,378	15,34	—	0,224	8,814
р. Сев.Донец	50,773	4,675	15,188	29,532	1,3787
р. Быстрая	1,9553	0,042	0,3883	1,525	—
р. Б. Калитва	0,0864	—	—	0,864	—
р. Глубокая	2,4353	—	—	2,4353	—
р. Миус	1,657	1,657	—	—	—
р. Кундрючья	22,172	0,384	13,416	8,3522	0,0193



Большая часть сбрасываемых сточных вод региона имеют категорию нормативно чистые (76,5 %, рис. 2), но по отраслям хозяйства и по бассейнам рек наблюдаются существенные отклонения (табл. 1). Для Дона и Северского Донца характерны и самые высокие объемы водопотребления, они же (с Кундрючьей и Темерником) являются самыми загрязненными реками региона.

**Таблица 2.**

**Источники поступления загрязняющих веществ в поверхностные воды Ростовской области (по данным [2])**

<b>Загрязняющие вещества</b>	<b>Промышленность, %</b>	<b>ЖКХ, %</b>	<b>Сельское хозяйство, %</b>
Нитраты	9,1	89,4	1,5
Железо	82,3	6,6	11,1
Азот аммонийный	16,6	81,1	2,3
Хлориды	18,7	66,8	14,5
Сульфаты	51,9	17,8	30,3
Фосфор общий	14,4	80,0	5,6
Медь	15,8	80,2	4,0
Сухой остаток	39,7	26,2	34,2
Нефтепродукты	20,8	77,2	2,0
БПК5	16,4	73,0	10,7

Большую часть аммонийного азота (81,1 %), меди (80,2), хлоридов, нефтепродуктов (77,2 %) и БПК5 дает жилищно-коммунальное хозяйство (табл. 2). За последние годы произошло возрастание загрязнения аммонийным азотом, нитратами, нефтепродуктами. Годовой ход загрязняющих веществ в сточных водах (до и после очистки) показывает достаточно низкий уровень очистки. Содержание хлоридов после очистки воды больше, чем до очистки, также возрастает количество нитратов. Повышенное содержание хлоридов ухудшает вкусовые качества воды, делает ее малоприспособленной для питьевого водоснабжения, ограничивает применение в технических и хозяйственных нуждах, для орошения [1].

Таким образом, с имеющимся значительным загрязнением воды очистные сооружения города не всегда справляются, значим процент проб не отвечающий гигиеническим нормам, как по микробиологическим показателям, так и по химическим. Необходима реконструкции устаревших очистных сооружений, разработки новых

технологий очистки сточных вод, усиления контроля за состоянием водных объектов, ужесточение нормативов ПДС и разработка новых нормативов с учетом климатических, гидродинамических условий местности, а также с учетом тенденций развития хозяйственной деятельности человека в регионе и специфичности выбрасываемых веществ.

### **Список литературы:**

1. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Под ред. Т.В. Гусевой. М., 2007. — 190 с.
2. Малышева А.А., Мартынова М.И. Современное состояние и экологические проблемы сточных вод Ростовской области // Экологические проблемы. Взгляд в будущее. Ростов н/Д, 2007. — С. 225—229.
3. Смагина Т.А., Кизицкий М.И., Кутилин В.С., Лиходед В.М., Меринов Ю.Н., Гайдаш А.А. Природа, население и хозяйство Ростовской области. Ростов н/Д, 1994. — 304 с.
4. Экологический вестник Дона. Ростов н/Д., 2011—2012. — 218 с.
5. Kryzhevich (Martynova) M. Forest fires in the steep forests (тезисы) // 32 nd International Geographical congress. Germany. Cologne, 2012. — P. 207—208.

## 6.2. КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

### ПОВЫШЕНИЕ НАГЛЯДНОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРЕЗЕНТАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРАКТИВНЫХ КАРТ

*Орешко Анатолий Петрович*

*канд. физ.-мат. наук, старш. научн. сотр., ТИГ ДВО РАН,  
РФ, г. Владивосток  
E-mail: [aporeshko@gmail.com](mailto:aporeshko@gmail.com)*

### INCREASE THE VISIBILITY GEOGRAPHICAL PRESENTATION USING INTERACTIVE MAPS

*Anatoly Oreshko*

*senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Pacific Institute of Geography FEB RAS,  
Russia, Vladivostok*

#### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена важной задаче повышения наглядности презентаций, использующих картографическое представление информации. Для этой цели предлагается использовать конструктор интерактивных карт. Это современный творческий инструмент, позволяющий создавать карты, содержащие много интерактивных объектов, самостоятельно, без помощи программистов и специалистов в области компьютерной графики. В результате значительно повышается четкость и важность информации, представленной в проектах, ориентированных на получение инвестиций, и в отчетах по результатам работ.

#### ABSTRACT

Article is devoted to the important task of increasing the credibility of presentations using cartographic representation. For this purpose is proposed to use the designer of interactive maps. It is a modern creative tool that lets you create maps with lots of interactive objects, without the help of programmers and specialists in the field of computer graphics. As a result,

significantly increases the clarity and importance of the information provided in the projects aimed at getting investment, and reports on the results of operations.

**Ключевые слова:** презентации; карты; интерактивность.

**Keywords:** presentations; maps; interactivity.

Чтобы повысить наглядность и информативность географических презентаций, при их создании обычно используются карты. Это используется и в науке, и в образовании, и в бизнесе. Для представления отчетов по результатам деятельности, для описания нового проекта, для сравнительного анализа временных или пространственных отличий, для знакомства с разноплановой и разномасштабной ситуацией в регионах, и др.

Однако статичные карты обладают рядом недостатков. Чем более подробная информация на них нанесена, тем труднее визуально воспринимать изменения, происходящие в результате каких-либо причин. Это относится и к изменениям, одновременно отраженным на одной карте — она становится информационно перегруженной. И к изменениям, показанным на ряде карт — трудно визуально зафиксировать все нюансы изменений, показанных либо на крупномасштабных картах в разное время, либо на мелкомасштабных картах одновременно.

Чтобы избавиться от указанных неудобств, можно использовать интерактивные карты. Презентационная схема создания таких карт основана на добавлении к картографической подложке произвольного количества дополнительных объектов, с которыми можно совершать различные манипуляции:

- Включать/выключать показ объектов в соответствующий момент времени.
- Подсвечивать конкретный объект для концентрации внимания слушателей.
- Перемещать, перекрашивать, модифицировать объекты для подчеркивания характеристик их изменения.
- Дополнять карту-схему новыми объектами непосредственно во время презентации.

Подготовить аналогичную презентацию можно с помощью геоинформационных систем (ГИС), размещенных, например, на любом компьютере, используемом для показа презентаций, либо на портативном внешнем накопителе информации. Однако этот путь представляется неоправданно сложным и малодоступным для многих. Гораздо проще любому человеку овладеть способами работы

с конструктором интерактивных карт, размещенным в Единой коллекции цифровых образовательных ресурсов [1].

Это современный творческий инструмент, позволяющий создавать насыщенные интерактивными объектами карты самостоятельно, без помощи программистов и специалистов в области компьютерной графики.

Пользователь, создающий интерактивную презентацию с помощью описанного конструктора, производит следующие операции:

- Импортирует готовую карту-основу в виде любого файла в форматах swf, jpg, gif, png. Векторные изображения (swf) легко и качественно масштабируются, поэтому выглядят аккуратно при изменении окна презентации. А растровые изображения широко распространены и их проще найти в готовом электронном виде или изготовить самостоятельно, отсканировав картинку или фото и сохранив в требуемых форматах.

- Дополняет карту любым количеством объектов, импортируя их из внешних файлов (фотографии, иконки, рисунки и др.), либо рисуя самостоятельно с помощью встроенного редактора (например, разомкнутые или замкнутые границы, названия областей или объектов).

- Определяет поведение каждого объекта в готовой презентации. Какие объекты будут видны сразу, какие можно показать или скрыть в процессе показа. Какие могут быть перемещены или изменены для наглядности, а какие нужно зафиксировать, чтобы ограничить случайные изменения. Например, при соответствующих настройках можно при показе произвольно менять символы, менять масштаб объекта, деформировать ломаную границу и редактировать текст.

- Определяет набор инструментов, необходимых для конкретной презентации.

Кроме изображений, можно снабдить презентацию звуковым сопровождением, либо однократно проигрываемым звуком, стартовым с начала презентации, либо зацикленным фоновым звуком, стартовым вместе с презентацией и постоянно повторяющимся до ее окончания.

Редактор интерактивных карт и плеер для проигрывания презентации абсолютно бесплатны, если используются для организации или проведения образовательного процесса. Но есть некоторые технические ограничения на использование. Так, для работы Редактора требуется наличие браузера Internet Explorer и плагина к нему, а запуск готовых презентаций может осуществляться

и при помощи любого другого браузера. Только для этого браузера также должен быть установлен соответствующий плагин. Все ссылки на скачивание программ в пакете документов имеются.

Требования к уровню подготовки разработчика презентаций — минимальные. Базовые знания персонального компьютера; умение оформлять графические материалы на уровне слайдов MS PowerPoint; умение искать цифровые ресурсы в Интернете или на различных носителях и использовать их в работе; умение использовать сканер для оцифровки материалов. И, конечно же, нужны знания основ закона об авторском праве, чтобы не нарушить его при использовании изображений и других Интернет-ресурсов.

Возможность вводить разные объекты, накладывать друг на друга в произвольном порядке, перемещать в трех измерениях, изменять по размеру, форме и цвету, делать видимыми или скрытыми — все это открывает большие возможности для повышения наглядности и убедительности представляемых материалов. Докладчик может показать административную карту, наложить на нее объекты или границы территорий, занятых новыми проектами, а потом менять карту-подложку на требуемые географические: рельефа, геоморфологии, экосистем, заповедных территорий и т. д., и показать, как новые проекты согласуются с существующей реальностью. И все это гораздо проще, но не менее наглядно, чем с использованием ГИС.

Добавочная возможность — вместо карты-подложки можно использовать любые изображения, и размещать объекты на них. Например, на фотографии редкого природного объекта в виде подложки можно расположить уточняющие символы, линии, подписи и фотографии для отдельных элементов этого объекта. Потом эти информационные детали можно в нужное время подсвечивать, для концентрации внимания слушателей, а фотографии временно увеличивать для большей наглядности доклада.

Таким образом, использование интерактивных карт может повысить выразительность, наглядность, доказательность и убедительность представлений новых проектов и отчетных докладов, сделанных в виде презентаций.

### **Список литературы:**

1. Белайчук О.А. Конструктор интерактивных карт с проверяемыми заданиями // Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов: сайт. [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/bd5a4839-0983-4600-9891-4e7295cc2fea/79394/?> (дата обращения: 7.12.2013).

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИС В ГЕОГРАФИИ

*Орешко Анатолий Петрович*

*канд. физ.-мат. наук, старш. научн. сотр., ТИГ ДВО РАН,*

*РФ, г. Владивосток*

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

## ON THE USE OF GIS IN GEOGRAPHY

*Anatoly Oreshko*

*senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,*

*Pacific Institute of Geography FEB RAS,*

*Russia, Vladivostok*

### АННОТАЦИЯ

Среди новых информационных технологий лишь немногие смогли прочно закрепиться для широкого использования в географии, особенно в научных исследованиях. Среди них географические информационные системы — ГИС. В статье дан краткий обзор бесплатных настольных ГИС с открытым кодом. Их бесплатность и относительная легкость в освоении могут стать фундаментом для освоения и перехода к комплексному использованию с мобильными и современными облачными геоинформационными технологиями.

### ABSTRACT

Among the new information technologies, only a few were able to gain a firm foothold for widespread use in geography, especially in research. Among them, geographic information systems — GIS. The article — a brief overview of free GIS desktop open source. So free of charge and the relative ease of development can be the foundation for developing and transition to the integrated use of mobile and cloud modern geoinformation technologies.

**Ключевые слова:** настольные ГИС; география.

**Keywords:** GIS desktop; geography.

Еще лет 20—30 назад использование математического моделирования и электронных карт в географии считалось экзотикой, а иногда и не одобрялось руководством. Время пролетело быстро. И сейчас редко в какой географической организации обходятся без математического моделирования геосистем, объектов, процессов

и явлений. Еще большее распространение получило использование электронных карт. Комплексные задачи решаются с использованием наборов электронных карт, связанных программным обеспечением для обработки и анализа содержащейся в них информации.

Среди программных продуктов цифровой картографии получили широкое распространение географические информационные системы (ГИС). Они помогают в решении различных проблем, связанных с градостроительством, землеустройством, учётом природных и имущественных ресурсов на территориях, в научных исследованиях и образовательной деятельности.

Существуют профессиональные корпоративные ГИС, расположенные на мощных серверах и позволяющие решать сложнейшие задачи. Есть ряд бесплатных геоинформационных систем, установленных непосредственно на ПЭВМ пользователей. Такие геоинформационные системы стали называть — Настольные ГИС.

С помощью настольных ГИС профессионалы в этой области создают, редактируют и проводят анализ географической информации, выявляют взаимосвязи и тенденции, которые крайне сложно отследить в исходных табличных данных, и строят модели, описывающие реальные процессы или прогнозирующие развитие ситуации. Серверные элементы ГИС предназначены для других целей. Они формируют на предприятии инфраструктуру для работы с пространственными данными (управление специальными хранилищами карт и геоинформации, их публикация в Сети, интеграция с обычными бизнес-приложениями и БД, работа мобильных пользователей и многое другое).

В данной работе представлен краткий обзор бесплатных настольных ГИС с открытым кодом. Они широко используются в связи с удобством их локального применения, позволяя работать с ними самостоятельно многим людям, не имеющим специальной подготовки. В том числе и сотрудникам организаций, имеющих мощные ГИС, чтобы в дальнейшем интегрировать полученные данные и свои разработки в корпоративную структуру.

QuantumGIS [1]. Это свободно распространяемый продукт с открытым кодом, достаточно простой для интуитивной работы. Он позволяет создавать, редактировать, визуализировать, анализировать и публиковать векторную и растровую геопространственную информацию на Windows, Mac, Linux, Android. Большое количество доступных для скачивания плагинов позволяет значительно расширить функционал программы в соответствии с запросами пользователей. При этом QuantumGIS может служить интерфейсом для более



сложного продукта ГИС GRASS, позволяющего работать через ВЕБ-интерфейс.

GRASS [2]. Является ведущим программным обеспечением в мире бесплатных ГИС. Используется для управления данными, обработки изображений, графики, пространственного моделирования и визуализации различных типов данных. Сейчас GRASS ГИС превратилась в мощный ресурс с широким спектром применений в самых разных областях научных исследований и коммерческой деятельности по всему миру, а также во многих правительственных агентствах и экологических компаниях. GRASS содержит сотни программ и инструментов для отображения карт и изображений на мониторе и бумаге, включая инструмент визуализации для отображения 3D векторных данных; возможность манипулировать растровыми, и векторными данными; осуществить процесс анализа спектральных данных изображений, а также создавать, управлять и хранить пространственные данные. GRASS использует интуитивно понятный интерфейс для удобства операций.

MapWindow GIS [3]. Свободная пользовательская настольная ГИС с открытым кодом, разрабатываемая Geospatial Software Lab университета шт. Айдахо. Может использоваться как просмотрщик и редактор геоданных с модульной архитектурой и набором средств для разработки собственных ГИС. Функциональность системы может быть значительно расширена с помощью дополнительных плагинов, библиотеки подпрограмм и инструмента разработчика MapWinGIS.ocx, которые также можно скачать бесплатно. Приложение запускается только под Windows.

gvSIG [4]. Это сложная географическая информационная система, предназначенная для управления пространственными данными и выполнения сложных исследований. Тем не менее, ГИС имеет дружелюбный интерфейс и предоставляет быстрый доступ к большинству стандартных растровых и векторных форматов. ГИС gvSIG также может интегрировать локальные и удаленные данные в одном и том же виде. Она предназначена для конечных пользователей географической информации в бизнесе и общественных администрациях (муниципалитеты, региональные советы и региональные и национальные министерства). Программа также очень хорошо приспособлена для использования в высшем образовании и науке. Разработчики могут легко добавлять функции к приложению и создавать полностью новые приложения из библиотек, используемых в gvSIG.

Школьная ГИС [5]. Бесплатная для некоммерческого использования школьная геоинформационная система является частью

информационного геокомплекса и предназначена для использования в процессе обучения географии и истории в общеобразовательной школе. Она является инструментом для работы с цифровыми географическими и историко-географическими картами, а также цифровыми снимками, полученными с искусственных спутников Земли. В состав информационного геокомплекса также входят коллекции цифровых географических карт и космических снимков территории России и зарубежных территорий. К сожалению, понимание ГИС и работа с ней требуют знаний и умений, которые не всегда есть у школьного учителя географии. Однако это же делает систему пригодной для некоммерческого использования в высшем образовании и в научных исследованиях.

GeoMedia Viewer [6]. Бесплатный универсальный ГИС-клиент GeoMedia Viewer, созданный в соответствии со спецификациями международного консорциума OGC, позволяет визуализировать и анализировать пространственную информацию (поиск, фильтрация по условию, динамическая визуализация, статистика, анализ близости, топологический анализ и многое другое), подготовка карт к печати, выполнение запросов по шаблону в среде настроенного рабочего сеанса. Напрямую подключается к следующим источникам информации (серверам и файлам в соотв. форматах): ArcGIS, MapInfo, MGE, GeoMedia (хранилище на платформе Microsoft Access, Microsoft SQL Server, Oracle Server), универсальные базы данных Oracle Server, IBM DB2 и Microsoft SQL Server, векторные карты или графика в форматах MicroStation (Bentley Systems), AutoCAD (Autodesk) и др., растровые данные (с и без геопривязки) такие, как аэрокосмические снимки и сканированные бумажные картматериалы в форматах TIFF, JPEG, CIT, RLE и пр., Веб-серверы WMS, электронные таблицы, табличные источники данных ODBC и даже ASCII тексты (в качестве полноценного хранилища, но, конечно же, форматированные). Не подходит для редактирования и/или создания данных (цифровых карт). Для этого можно использовать в течение 30 дней бесплатно GeoMedia или GeoMedia Professional.

Как мы видим, за довольно короткий временной интервал произошли значительные изменения в методике и инструментарии географических исследований и работ. Тем не менее, новые технологии в области теоретической и прикладной географии с трудом завоевывают место среди широкого круга пользователей. В среднем образовании этот процесс идет быстрее, глубже и шире, чем в научных исследованиях. Так бывает не всегда, но это не худший вариант развития общества.

### **Список литературы:**

1. Свободная географическая информационная система с открытым кодом // QGIS.ORG: Проект QGIS — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://qgis.org> (дата обращения: 8.12.2013).
2. GRASS GIS: The world's leading Free GIS software // Project of GRASS Development Team — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://grass.osgeo.org/> (дата обращения: 8.12.2013).
3. MapWindow GIS Open Source Project — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://www.mapwindow.org/> (дата обращения: 8.12.2013).
4. GIS-Lab. Сайт «ГИС Лаборатория». 2001. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://gis-lab.info/qa/gvsg.html> (дата обращения: 8.12.2013).
5. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: <http://school-collection.edu.ru> (дата обращения: 8.12.2013).
6. GeoMedia Viewer // Портал Intergraph SG&I Support. — [Электронный ресурс] — Режим доступа. — URL: [https://sgisupport.intergraph.com/infocenter/index?page=product&facRef=GEOMEDIA\\_VIEWER&facDisp=GeoMedia%20Viewer](https://sgisupport.intergraph.com/infocenter/index?page=product&facRef=GEOMEDIA_VIEWER&facDisp=GeoMedia%20Viewer) (дата обращения: 8.12.2013).

## ГИС УХОДЯТ В ОБЛАКА, ПРИБЛИЖАЯСЬ К ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ

*Орешко Анатолий Петрович*

*канд. физ.-мат. наук, старш. научн. сотр., ТИГ ДВО РАН,  
РФ, г. Владивосток  
E-mail: [aporeshko@gmail.com](mailto:aporeshko@gmail.com)*

## CARE GIS IN THE CLOUDS, APPROACHING TO USERS

*Anatoly Oreshko*

*senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,  
Pacific Institute of Geography FEB RAS,  
Russia, Vladivostok*

### АННОТАЦИЯ

Основная цель статьи — привлечь внимание к новому программному продукту, появившемуся в результате бурного развития географических информационных технологий — облачной ГИС. Его использование позволяет повысить эффективность совместной работы отдельных сотрудников и всей организации, дает возможность использовать пространственные данные даже тем, кто далек от профессиональной работы с ГИС. При этом значительно сокращаются затраты на поддержку собственной ГИС.

### ABSTRACT

The main purpose of this article — to draw attention to a new software product that appears as a result of the rapid development of geographic information technologies — GIS cloud. Its use can improve the efficiency of joint work of individual employees and the organization, enables the use of spatial data, even those who are far from professional work with GIS. This significantly reduces the cost of supporting their own GIS.

**Ключевые слова:** облачная ГИС; география.

**Keywords:** GIS cloud; geography.

Бумажные карты и атласы очень быстро уходят в прошлое, уступая место электронным. Последние имеют преимущества:

с их помощью можно намного быстрее найти нужный объект; можно рассматривать отдельные участки в разных масштабах; прокладывать оптимальные маршруты из одного пункта в другой. Кроме того, электронная карта обычно дополняется различной справочной информацией, по которой также можно осуществлять поиск.

Электронные карты стали объединять в сложные наборы с программной возможностью создания и разнообразной обработки картографической информации и географического анализа, полноценной визуализацией, использованием баз данных и статистического анализа. Так возникли географические информационные системы (ГИС). Они обеспечивают уникальные возможности их применения для большого количества задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с долговременным планированием решений и текущих последствий предпринимаемых действий.

Современные ГИС автоматизируют процедуры анализа и прогноза, помогают делать обобщения и полноценный анализ географической информации с целью обоснованного принятия оптимальных решений, основанных на современных подходах и средствах, что раньше было уделом немногих специалистов.

В настоящее время разработкой и использованием ГИС практически во всех региональных и глобальных сферах человеческой деятельности занимаются сотни тысяч людей во всем мире. ГИС изучают в школах, колледжах и университетах. Возникли различные типы ГИС: серверные, настольные, мобильные, портативные и др., которые стали объединяться для комплексного использования.

Но быстрое развитие технологий продолжается. В 2010 году генеральный директор компании eSpatial, пионера в области «программного обеспечения как услуги» (SaaS) ГИС, заявил, что SaaS и облачные вычисления станут основным методом предоставления результатов обработки геопространственной информации различным потребителям. Он отметил, что доступность, низкая стоимость и гибкость, которые предоставляются с SaaS ГИС, означает, что в конечном итоге эти решения заменят действующие сегодня настольные ГИС. «ГИС-компаниям придется перестать думать, как поставщикам программного обеспечения и начать думать и действовать как поставщикам услуг, чтобы перейти от предоставления традиционных решений к ГИС исключительно в качестве службы» [1].

В соответствии с данной стратегией, чтобы помочь организациям получить больше выгод от использования ГИС, не разворачивая при этом собственную полнофункциональную геоинформационную платформу, компания Esri разработала и в 2012 году запустила инфраструктуру ArcGIS Online [2]. Это готовая облачная ГИС, которая уже содержит готовые базовые карты, данные и наборы сервисов, а также полезные инструменты, которые могут сразу использоваться в работе. И в ней можно хранить и публиковать свои пространственные данные, карты, инструменты и сервисы, а также обмениваться и управлять ими. Можно сопоставлять и комбинировать их для получения новых приложений, тематических карт или web-сервисов.

Доступ к данным, хранящимся на ArcGIS Online, осуществляется через Интернет многими способами. Даже работая в обычном web-браузере, с помощью простых операций можно, без установки на компьютер специализированного программного обеспечения, быстро создавать web-карты и приложения с возможностью настраивания прав доступа для различных групп пользователей и загрузки для дальнейшей обработки специализированным ПО.

ArcGIS Online — это новый подход к корпоративному применению ГИС технологий. Он помогает более эффективно использовать настольную, серверную и мобильную составляющую корпоративной ГИС, способствуя простому и удобному обмену данными между различными пользователями через web-среду и обеспечивая доступ всех сотрудников к единому геоинформационному пространству. Стоит и упомянуть, что сервисы ArcGIS Online переведены, в том числе, и на русский язык.

Любой пользователь может бесплатно зарегистрировать свой аккаунт на сайте ArcGIS.com. При этом он получает возможность хранить в облаке собственные данные размером до 2 Гб, создавать на основании имеющихся ресурсов собственные web-карты и приложения, настраивать доступ к ресурсам и встраивать их в web-сайты и социальные сети.

Ежегодная подписка для организаций, недорогая, но не бесплатная, дает доступ к уже развернутому и готовому к использованию частному защищенному экземпляру ГИС-инфраструктуры в «облаке». ArcGIS Online for Organizations позволяет повысить эффективность совместной работы различных рабочих групп, отделов и всей организации. При этом сокращаются затраты на поддержку собственной ГИС, так как для работы с ArcGIS Online не требуется установка никакого дополнительного ПО или оборудования.

Этот вариант дает значительно больше возможностей, в том числе и для отдельных пользователей от этой организации.

Только для подписчиков ArcGIS Online for Organizations доступен модуль Esri Maps for Office. Он представляет собой надстройку для приложений MS Excel и PowerPoint, которая позволяет создавать и публиковать интерактивные карты непосредственно в приложениях Microsoft Office. С помощью Esri Maps for Office можно легко создавать эффектные карты и презентации непосредственно из данных в таблицах Excel. Для добавления на карту объектов с известными местоположениями (координатами, адресами, почтовыми кодами) больше не нужно быть специалистом в ГИС.

После того, как карта будет полностью оформлена, ее можно сделать доступной для коллег и клиентов, опубликовав ее на ArcGIS Online, а также добавить ее в презентацию PowerPoint. При этом она будет не просто статичной картинкой, а полноценной динамической web-картой с возможностью навигации и интерактивного взаимодействия.

ArcGIS Online дает возможность использовать пространственные данные даже тем, кто далек от профессиональной работы с ГИС. Этот ресурс позволяет быстро и легко создавать карты на основании данных, хранящихся в виде таблиц или текстовых документов, а затем делать их доступными для широкого круга пользователей. Такого рода самостоятельное картографирование разгружает ГИС-профессионалов, которые могут сконцентрировать свои усилия на создании более сложных геоинформационных продуктов.

### **Список литературы:**

1. "The Rise of the Cloud = the Demise of the Desktop": What it will take for GIS companies to weather the cloud computing storm. [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://www.directionsmag.com/pressreleases/the-rise-of-the-cloud-the-demise-of-the-desktop-what-it-will-take-for-/133744> (дата обращения: 8.12.2013).
2. ArcGIS Online. [Электронный ресурс] — Режим доступа — URL: <http://www.arcgis.com/home/> (дата обращения: 8.12.2013).

**Научное издание**

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

Сборник статей по материалам  
XIII международной научно-практической конференции

№ 12 (12)  
Декабрь 2013 г.

В авторской редакции

Подписано в печать 15.12.13. Формат бумаги 60x84/16.  
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 13. 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