

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

# **МОЛОДЁЖЬ И НАУКА**

**Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых,  
посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского  
г. Красноярск, 19-27 апреля 2012 г.**

**Том 2**

Красноярск  
СФУ  
2012

УДК 001.891(063)

ББК 72я431

М 75

**М 75** Молодёжь и наука: в 4 т.: материалы конф. Т.2 / отв. за выпуск О.А. Краев. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – 365 с.

ISBN 978-5-7638-2609-8

*Проект поддержан за счёт средств, предоставленных путём выделения целевого финансирования Краевым государственным автономным учреждением «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».*

**УДК 001.891(063)**

**ББК 72я431**

ISBN 978-5-7638-2609-8

© Сибирский  
федеральный  
университет, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ .....</b>	<b>10</b>
<i>Воронина К.В.</i>	
ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ .....	10
<i>Прокопьев А.А., Петрова И.Ю.</i>	
ЗОЛОТАЯ ПРОПОРЦИЯ В МАТЕМАТИКЕ, ХИМИИ, КРИСТАЛЛОГРАФИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЗАКОНАХ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ .....	19
<i>Тарасова А.А.</i>	
ВЗАИМООТНОШЕНИЯ «СВОЙ-ЧУЖОЙ» КАК ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЩИХ НА СКОРОСТЬ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА .....	24
<b>ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ .....</b>	<b>29</b>
<i>Белозерова А.А., Соколов В.А.</i>	
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КВАРЦЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ НОВОЕ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ) .....	29
<i>Белоконов Г.В.</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ НАРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ ИЗ НАГРЕТЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУВЕНИРНОЙ ПРОДУКЦИИ .....	33
<i>Коновалова С.П., Мещерякова А.С.</i>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МАЦЕРАЛОВ С КЛАССИФИКАЦИЕЙ МЕЖДУНАРОДНОГО КОМИТЕТА ПО УГОЛЬНОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ ПЕТРОЛОГИИ .....	36
<i>Приходько А.Н.</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕ-РЫБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА .....	39
<i>Фисенко В.Г.</i>	
ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦА ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА .....	43
<b>ИНФОРМАТИКА: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ .....</b>	<b>49</b>
<i>Козлов А.В.</i>	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗДАНИЯ .....	49
<i>Кострюков А.С., Коноплев Д.Ю.</i>	
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ СУДОВЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ .....	56
<i>Кропачева М.С.</i>	
СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА КОРРЕКТНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПОТОКОВЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ .....	62

<i>Ромашова А.А.</i> ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ГИДРО- МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАССЕЙНОВ ЧЕРНОГО И СРЕ- ДИЗЕМНОГО МОРЕЙ.....	67
<i>Черников С.В., Соснин А.С.</i> РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕП- ЛОМАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ НА ОС- НОВЕ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA ДЛЯ GPU.....	71
<i>Чудновский М.М.</i> ВЫСОКОУРОВНЕВОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ И СРЕДА МАТЛАВ. ПОДВОДНЫЕ КАМНИ ИНТЕГРАЦИИ.....	74
<b>ИНФОРМАТИКА: ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, МАТЕМА- ТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....</b>	<b>80</b>
<i>Гризан С.А.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕ- НИЯ ЛАПЛАСА НА ПЛАТФОРМЕ CUDA.....	80
<i>Колесниченко А.В.</i> ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ОТСА- СЫВАЮЩЕЙ ТРУБЕ ВЫСОКОНАПОРНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ.....	83
<i>Тутатчиков В.С., Киселев О.И.</i> О ВЫЧИСЛЕНИИ ТРЁХМЕРНОГО БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ.....	87
<b>ИНФОРМАТИКА: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ.....</b>	<b>92</b>
<i>Кадурина М.С.</i> ИТЕРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ФАКТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ.....	92
<i>Смирнова Д.В.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРОКО- ТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ.....	98
<i>Цепкова М.В.</i> К ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ.....	100
<b>НАНОТЕХНОЛОГИИ.....</b>	<b>106</b>
<i>Ikonnikov D.A.</i> SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF Nd <sup>3+</sup> IN ORTHORHOMBIC δ-BiB <sub>3</sub> O <sub>6</sub> CRYSTAL.....	106
<i>Rasskazov I.L.</i> OPTICAL PROPERTIES OF THE WAVEGUIDES IN THE FORM OF VARIOUS CONFIGURATIONS OF ARRAYS OF NANOPARTICLES, SYNTHESIZED ON THE ELECTROSTATICALLY FUNCTIONALIZED SUBSTRATE.....	110

<i>Суходаев П.О.</i> НАНОПОРОШКИ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОС- НОВЕ АЛЮМИНИЯ.....	114
<i>Цибина О. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БАКТЕРИАЛЬНОГО ФЕРРИГИДРИТА .....	118
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ. УСПЕХИ НАУЧНОЙ МОЛОДЕЖИ.....</b>	<b>122</b>
<i>Коваленко С.А.</i> БИОЛОГИЯ ГОЛЬЯНА ОБЫКНОВЕННОГО <i>RHOXINUS RHOXINUS</i> (СЕМ. СУРРИНИДАЕ) ОЗ. ОЙСКОГО (ЗАПАДНЫЙ САЯН) .....	122
<i>Крылова М.М.</i> ФЛОРА ГОРОДА АБАЗА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ).....	127
<i>Нюкалова М.А.</i> ВЛИЯНИЕ ЦИНКА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛО- ДЫХ РАСТЕНИЙ <i>HELIANTHUS ANNUUS L.</i> .....	131
<i>Россихина О.Н.</i> ТРОПИЧЕСКИЕ ПОЧВЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ-ДЕСТРУКТОРЫ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ .....	135
<i>Рудченко А.Е.</i> СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПИТАНИЯ И ОБЩЕЙ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА .....	138
<i>Синельникова А.М.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВА- ЦИЯ ОТВАЛОВ БОРОДИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА.....	142
<i>Смирнова Е.Н.</i> ГИПЕРКАПИЯ, КАК ИНДУКТОР ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ АКТИВ- НОСТИ И ЛЕКАРСТВЕННОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ КУЛЬТУРЫ ОПУ- ХОЛЕВЫХ КЛЕТОК .....	147
<i>Столяр М.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ И СЕКРЕЦИЮ ГРАНУЛ ТРОМБОЦИТОВ .....	150
<i>Чернобровкина Д.А.</i> КОНСТРУИРОВАНИЕ МАТРИКСОВ ИЗ ПГА ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕ- ВОЙ ИНЖЕНЕРИИ.....	153
<i>Яблоков Н.О.</i> МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА РОСТА ОКУНЯ И ЕЕ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ.....	158
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕР- НЫХ НАУК.....</b>	<b>163</b>
<i>Ахмедова Ш.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЙНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ .....	163

<i>Биндиман А.П., Тарасов Д.А.</i> ОБ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЯХ ИЗ АЛИКВОТНЫХ ДРОБЕЙ.....	167
<i>Болховец В.О.</i> РАЗЛОЖЕНИЕ ГРАФА МИНИМАЛЬНЫМИ КЛИКОВЫМИ СЕПАРАТОРАМИ.....	171
<i>Бурмак В.С.</i> ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДАЛГЕБР И ИНВАРИАНТНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ.....	174
<i>Быков Г.В.</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ВЕБ-САЙТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ SEMANTIC WEB.....	177
<i>Веретнова К.Ю.</i> МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ И ЛИНЕЙНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ НА ПРАКТИКЕ: ПРИМЕНЕНИЕ К РОССИЙСКОЙ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ .....	180
<i>Герасимов Е.</i> ПУТЬ К НАДЕЖНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В 2030 ГОДУ .....	185
<i>Губайдулина Л.Ф.</i> РАЗРАБОТКА САЙТА «ФРАКТАЛЫ».....	188
<i>Даржаа М.А.</i> О ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКА ОДНОГО КВАЗИЛИНЕЙНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ.....	190
<i>Елисеев И., Шеремет Д.</i> ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ НАД ЧИСЛАМИ.....	193
<i>Зотов И.Н.</i> ЭЛЕМЕНТАРНО ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ МАКСИМАЛЬНЫЕ УНИПОТЕНТНЫЕ ПОДГРУППЫ ГРУПП ШЕВАЛЛЕ .....	206
<i>Истягин А.А., Комаров С.П.</i> МГД УСТРОЙСТВА .....	208
<i>Кабиров Я.Ш., Майер О.А., Симонова К.А.</i> СМАЗОЧНЫЕ СОСТАВЫ С ДОБАВЛЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ.....	212
<i>Кащеева Е.С.</i> ИНТЕРАКТИВНЫЙ СЛОВАРЬ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА ДЛЯ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРЕНИНГА И ТЕСТИРОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ MS EXCEL 2007 .....	215
<i>Керн А.С., Лукоткин А.С.</i> НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ.....	219
<i>Козловская А.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОЕМОВ. ПОСТРОЕНИЕ ТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛИ ЭКОСИСТЕМЫ ВОДОЕМА .....	222
<i>Копылова В.Г.</i> ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИЙ ИСТОЧНИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ СОСТАВНОГО ТИПА .....	227

<i>Кравцова Е.А.</i> МАКСИМАЛЬНЫЕ КОММУТАТИВНЫЕ ПОДАЛГЕБРЫ В НЕКОТОРЫХ НИЛЬПОТЕНТНЫХ АЛГЕБРАХ ЛИ .....	229
<i>Лавренов А.О.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ТЕМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА В БОЛЬШИХ МАССИВАХ ДАННЫХ.....	230
<i>Лемешкова Е.Н.</i> ОБ ОДНОНАПРАВЛЕННОМ ДВИЖЕНИИ ТРЁХ ВЯЗКИХ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ СИЛ.....	236
<i>Литаврин А.В.</i> ДИОФАНТОВЫ УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ОБОБЩЕННЫЕ КВАТЕРНИОНЫ С НОРМОЙ 1 .....	238
<i>Михайлов А.Н.</i> ОРБИТЫ ФИГУР ЕВКЛИДОВА ПРОСТРАНСТВА ПРИ ДЕЙСТВИИ КОНЕЧНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ГРУПП .....	240
<i>Нартов Я.В.</i> НЕЧЕТКИЕ МНОЖЕСТВА КАК ПРОЕКЦИИ СЛУЧАЙНЫХ. ЭВЕНТОЛОГИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД .....	242
<i>Некрасова Т.И.</i> РАЗНОСТНЫЕ УРАВНЕНИЯ В КОНУСАХ ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ РЕШЕТКИ.....	245
<i>Попкова М.И.</i> ПОЛНОЕ СЕТ-РАССТОЯНИЕ И СЕТ-РАССЕЯНИЕ МНОЖЕСТВА СОБЫТИЙ.....	248
<i>Похабова М.А.</i> ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ В СЛОИСТЫХ УПРУГИХ СРЕДАХ С ТОНКИМИ ВЯЗКОУПРУГИМИ ПРОСЛОЙКАМИ .....	251
<i>Родионова А.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ШТРАФОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ .....	253
<i>Симашкевич С.Г., Константинов В.И.</i> ПРОГРАММИРОВАНИЕ: СОЗДАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ИГРЫ.....	257
<i>Сопкова В.А.</i> МЕТОД РУНГЕ: ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ УРАВНЕНИЙ 3-Й И 4-Й СТЕПЕНИ.....	259
<i>Спирина А.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА PSO .....	261
<i>Стичак Г.А.</i> ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА .....	266
<i>Становов В.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ САМОНАСТРОЙКИ АЛГОРИТМА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ СИМВОЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ .....	269

<i>Сухотин М.А.</i> ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ТРАНСФОР- МАЦИИ СТОКА.....	271
<i>Тимофеев И.А.</i> ПОРОЖДАЮЩИЕ МНОЖЕСТВА ИНВОЛЮЦИЙ ЛИНЕЙНЫХ ГРУПП РАЗМЕРНОСТИ 2 НАД КОЛЬЦОМ ЦЕЛЫХ ГАУССОВЫХ ЧИСЕЛ.....	276
<i>Тубол Н.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ПОЛИНОМОВ ОТ ДВУХ ПЕРЕ- МЕННЫХ.....	279
<i>Хритоненко Д.И.</i> О САМОНАСТРОЙКЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА.....	280
<i>Шефер И.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГО- РИТМА УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ.....	283
<b>ФИЗИКА.....</b>	<b>287</b>
<i>Бурова О.В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В КАНАЛАХ КРУГЛО- ГО СЕЧЕНИЯ С ЗАКРУЧЕННЫМ ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ.....	287
<i>Игнатова Н.Ю.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРОН- НЫХ СВОЙСТВ ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КРИСТАЛЛОВ SrV <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .....	291
<i>Князев Ю.В.</i> ВЛИЯНИЕ ФРУСТРИРУЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА МАГНИТ- НЫЕ СВОЙСТВА ОКСИБОРАТОВ.....	294
<i>Назаренко И.И.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ Ni <sub>5</sub> GeO <sub>4</sub> (VO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ УПОРЯДОЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ ИОНОВ.....	298
<i>Осетров Е.И.</i> МЁССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОСФЕР ЭНЕРГЕТИ- ЧЕСКИХ ЗОЛ.....	304
<b>ХИМИЯ.....</b>	<b>309</b>
<i>Аксёнова Д.С.</i> КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ РАСПЛАВОВ Bi – Pb И Bi –Sn В КИСЛО- РОД-АРГОНОВОЙ СМЕСИ.....	309
<i>Вишнякова Е.А., Романченко А.С., Сайкова С.В., Лихацкий М.Н.</i> ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ НАНОЧАСТИЦ СЕ- РЕБРА.....	311
<i>Калякин Д.С.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ И МИГРАЦИИ АТОМА УГЛЕРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА И ГРАФЕНА.....	314

<b>ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ .....</b>	<b>320</b>
<b>Биологический контроль .....</b>	<b>320</b>
<i>Александров Д.Е.</i>	
РЕДКИЕ ВИДЫ МАКРОМИЦЕТОВ о. ТАТЫШЕВ (р. Енисей, г. Красноярск).....	320
<i>Бородавко Н.В.</i>	
О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ТРАНСПЛАНТАЦИОННОЙ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА .....	324
<i>Лебедева В.П.</i>	
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ.....	328
<i>Масенцова И.В.</i>	
ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО ПОКОЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ.....	332
<i>Фидельская К.В.</i>	
БИОИНДИКАЦИЯ УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА .....	335
<i>Филиппова М.А.</i>	
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА ПЕРЕХОД ХВОЙНЫХ В СОСТОЯНИЕ ЗИМНЕГО ПОКОЯ.....	338
<b>Биоразнообразие животного мира.....</b>	<b>342</b>
<i>Александрова Т.А.</i>	
ДИНАМИКА И ОСНОВНЫЕ ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ЧИСЛЕННОСТИ ДИКИХ КОПЫТНЫХ ТОРГАШИНСКОГО ХРЕБТА.....	342
<i>Афтохудинова Д.Ф.</i>	
РУКОКРЫЛЫЕ ОЗЕРА ИТКУЛЬ.....	347
<i>Семёнов И.В.</i>	
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ (ООПТ) ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ГУМЕННИКА В ТАЙГЕ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ ЕНИСЕЯ.....	349
<b>Проблемы водных и наземных экосистем .....</b>	<b>352</b>
<i>Болкунова Д.Е.</i>	
ВИДОВОЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ИСКОПАЕМЫХ МОЛЛЮСКОВ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ КРАСНОЯРСКОЙ И МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИН.....	352
<i>Махныкина А.В., Сергеева О.В.</i>	
ДИНАМИКА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ И КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКАХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕЙ СИБИРИ.....	356
<i>Стиридонова Э.В.</i>	
ЛАНДШАФТНЫЙ ПРОФИЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ НИЗКОГОРНОЙ ГРЯДЫ «ДОЛГАЯ ГРИВА» (ОКРЕСТНОСТИ Г. КРАСНОЯРСКА).....	359

# ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ



УДК:521

## ВЫЧИСЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

**К.В. Воронина**

**Научный руководитель А.В. Брильков**

*Сибирский федеральный университет*

### **Введение**

Вы когда-нибудь задумывались о том, каким образом узнают размеры космических объектов?

Как-то просматривая статью об открытии нового крупного объекта на границах Солнечной системы, я внезапно осознала, что астрономы его открывшие и сообщившие нам его размеры, находятся на Земле. Я решила узнать, как именно ученые определяют размеры открываемых ими объектов, не имея возможности оказаться рядом с ними.

В работе детально рассмотрены физические основы определения диаметров малых планет из астрономических наблюдений. Приведены сравнительные таблицы абсолютных звездных величин для 25 самых крупных астероидов Главного Пояса и стольких же объектов Пояса Койпера.

### **Физические параметры крупных астероидов солнечной системы**

На первом этапе работы мы сделали выборку для 25 самых крупных астероидов Главного Пояса из анализа данных каталога IRAS. [1] Для каждого из этих объектов в ходе исследования с борта космического аппарата были получены многочисленные измерения блеска в узкополосных спектральных диапазонах, что позволяет достаточно точно определить отражающие свойства их поверхностей (альбедо) и, соответственно, вычислить их размеры.

Анализ существующих данных о наиболее ярких транснептуновых объектах (объекты Пояса Койпера – еще одного пояса астероидов, расположенного на окраинах Солнечной системы), был выполнен на основе

данных интернет-сайта Международного Астрономического Союза (IAU) на начало 2012 г. [2,3].

Таблица 1

**Астероиды Главного Пояса**

Nn	№	Название	Но	Альб.	D км	+/-
1	001	Церера	3.32	0.100	913	43
2	002	Паллада	4.13	0.140	523	20
3	004	Веста	3.16	0.380	501	24
4	010	Гигея	5.27	0.075	429	8
5	511	Дэвида	6.17	0.053	337	5
6	704	Интерамния	6.00	0.064	333	6
7	052	Европа	6.25	0.057	312	7
8	015	Эвномия	5.22	0.190	272	6
9	087	Сильвия	6.95	0.040	271	12
10	016	Психея	5.99	0.10	264	4
11	031	Ефросинья	6.53	0.070	248	54
12	065	Кибела	6.79	0.057	245	6
13	003	Юнона	5.31	0.220	244	12
14	324	Бамберга	6.82	0.057	242	7
15	107	Камилла	6.80	0.060	237	14
16	532	Геркулина	5.78	0.160	231	4
17	451	Патентия	6.65	0.073	230	20
18	048	Дорис	6.83	0.064	225	11
19	029	Амфитрита	5.84	0.160	219	5
20	121	Гермиона	7.39	0.042	217	4
21	423	Диотима	7.48	0.038	217	6
22	013	Эгерия	6.47	0.099	215	7
23	045	Евгения	7.27	0.048	214	8
24	094	Аврора	7.55	0.038	212	4
25	007	Айрис	5.76	0.210	203	5

**Астероиды Пояса Койпера**

nn	N	Название	Обозначение	Но	A	км
1	136199	Eris	2003 UB313	-1.16	0.86	?
2	136472	Makemake	2005 FY9	-0.4	?	?
3	136108	Haumea	2003 EL61	0	?	?
4	90377	Sedna	2003 VB12	1.58	?	?
5	225088		2007 OR10	1.7	?	?
6	90482	Orcus	2004 DW	2.2	?	?
7	50000	Quaoar	2002 LM60	2.6	?	?
8	55636		2002 TX300	3.2	?	?
9	28978	Ixion	2001 KX76	3.3	?	?
10	55565		2002 AW197	3.4	?	?
11	174567		2003 MW12	3.4	?	?
12	202421		2005 UQ513	3.4	?	?
13	20000	Varuna	2000 WR106	3.6	?	?
14	120178		2003 OP32	3.6	?	?
15	307261		2002 MS4	3.7	?	?
16	55637		2002 UX25	3.7	?	?
17	208996		2003 AZ84	3.7	?	?
18	278361		2007 JJ43	3.7	?	?
19	145452		2005 RN43	3.9	?	?
20			2010 KZ39	3.9	?	?
21	230965		2004 XA192	4	?	?
22	90568		2004 GV9	4	?	?
23	145453		2005 RR43	4	?	?
24	84922		2003 VS2	4.1	?	?
25			2003 UZ413	4.2	?	?

Для удобства сравнения мы свели полученные данные в табл. 1. Как видно из таблицы, около девяти объектов Пояса Койпера имеют абсолютную звездную величину больше, чем самый крупный астероид Главного Пояса – Церера. Что при равных значениях поверхностной яркости должно означать и их большие размеры.

Далее в работе детально рассмотрены физические основы определения размера малой планеты из анализа ее блеска. И выполнено численное моделирование для определения наиболее вероятных значений диаметров крупных объектов на границах солнечной системы исходя из различных разумных значений их альбедо (в первом приближении просто среднее арифметическое значение альбедо 25 крупных объектов Главного Пояса).

**Физические основы определения размеров астероидов**

Блеск любой малой планеты (астероида) будет подчиняться закону обратных квадратов: мысленно «отодвинутый» в два раза дальше от Солнца астероид должен отражать в пространство в 4 раза меньше света. Точно также – количество света, приходящее к Земле, будет обратно пропорцио-

нально квадрату расстояния объекта от нашей планеты ( $1/d^2$ ). Знание законов небесной механики позволяет определять точные положения и взаимные расстояния для любых космических тел с известными элементами орбит. А фотометрические измерения дают значения их видимого блеска в различных положениях.

Суммарный анализ позволяет вычислить каким был бы блеск астероида на стандартном расстоянии в одну астрономическую единицу (149,6 млн км) и от Земли, и от Солнца. Этот очень важный параметр называют абсолютной звездной величиной малой планеты  $H_0$ .

При прочих равных условиях более слабый на таком «стандартном расстоянии» объект, должен иметь и меньшие размеры. Однако «равные условия» в первую очередь подразумевают и равенство отражающей способности поверхностей (альбедо) сравниваемых объектов (легко понять, что блестящая ледяная глыба при наблюдении с одного расстояния будет выглядеть ярче куска темного камня таких же размеров).

Разберемся в формулах, используемых в работе. Применяемая в астрономии шкала блеска является степенной. По определению, отношения блеска двух небесных светил связано с разностью их видимых звездных величин как

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{m_2 - m_1}.$$

Абсолютной звездной величиной малой планеты  $H_0$  называют видимый блеск астероида на стандартном расстоянии в одну астрономическую единицу (149,6 млн.км) от Земли и от Солнца.

Используя понятие  $H_0$  с учетом правила «обратных квадратов» (блеск изменяется как  $1/r^2$ ), можно получить такое выражение:

$$\frac{1}{d^2} \cdot \frac{1}{r^2} = 2,512^{H_0 - m},$$

где  $m$  – видимая звездная величина астероида (легко определяется из наблюдений путем сравнения с блеском окружающих звезд);  $r$  и  $d$  – соответствующие расстояния астероида от Солнца и от Земли в момент наблюдений (в астрономических единицах – эти значения можно получить зная элементы орбиты малой планеты).

Логарифмируя левую и правую части, получаем:

$$-2 \cdot \log(d) + -2 \cdot \log(r) = 0,4 \cdot (H_0 - m),$$

или

$$-5 \cdot \log(d) - 5 \cdot \log(r) = H_0 - m.$$

И, окончательно:

$$H_0 = m - 5 * \lg(d) - 5 * \lg(r). \quad (1)$$

Многочисленные позиционные наблюдения астероида позволяют определить его орбиту и соответствующие расстояния от Земли ( $d$ ) и от Солнца ( $r$ ) для каждого момента наблюдений. Почти всегда на снимках можно найти и несколько звезд известного блеска, путем сравнения с которыми определяется видимая звездная величина астероида ( $m$ ). Таким образом мы получаем серии значений  $d$ ,  $r$  и  $m$ , зная которые по формуле (1) легко определить  $H_0$ .

Но нас интересует, как связать  $H_0$  с диаметром и альбедо. Так как  $H_0$  – это блеск на одном расстоянии, то теперь он будет зависеть от диаметра и альбедо. В результате специальных расчетов было получено, что абсолютно белое тело диаметром в 1 км на расстоянии в 1 а.е. должно иметь  $m = 15,618$ . По аналогии с выводом формулы (1), с учетом того, что видимый блеск  $H_0$  реального объекта диаметром  $D$  км и альбедо  $A$  на стандартном расстоянии изменяется прямо пропорционально  $D^2$  и прямо пропорционально  $A$  можно получить:

$$\frac{1}{D^2} * \frac{1}{A} = 2,512^{H_0 - 15,618},$$

логарифмируя которое, получаем:

$$H_0 = 15,618 - 5 \lg(D) - 2,5 \lg(A), \quad (2)$$

откуда получаем выражение для  $D$ :

$$5 \lg(D) = 15,618 - H_0 - 2,5 \lg(A),$$

или

$$\lg(D) = 3,1236 - \frac{H_0}{5} - \frac{1}{2} \lg(A)$$

и далее

$$D = 10^{\left(3,1236 - \frac{H_0}{5} - \frac{\lg(A)}{2}\right)}$$

или

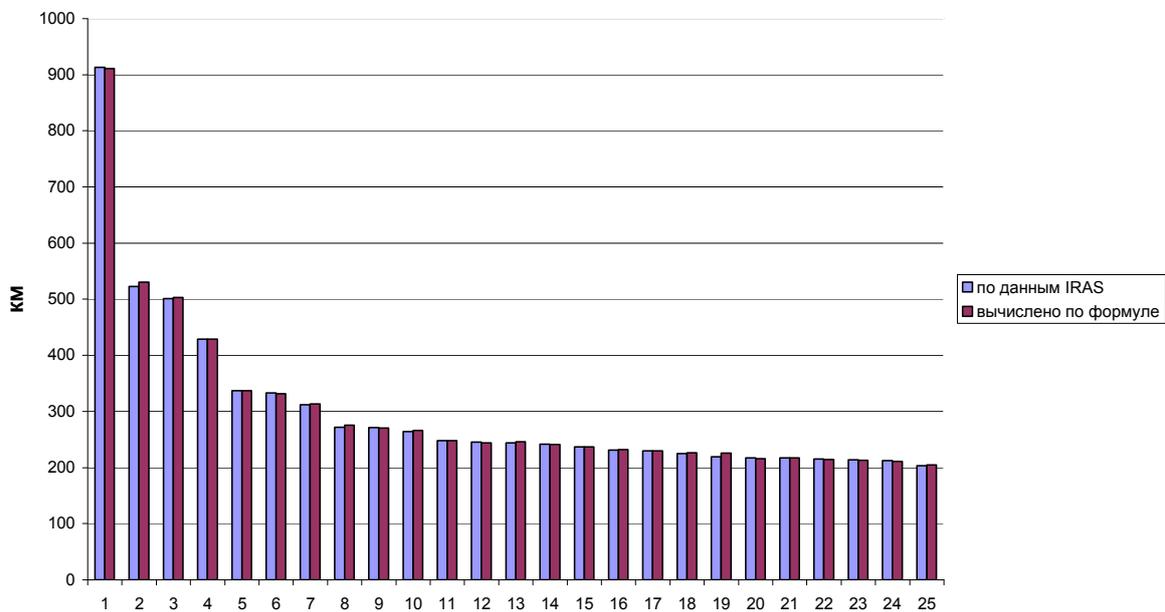
$$D = 10^{3,1236} \cdot 10^{\frac{-H_0}{5}} \cdot 10^{\frac{-\lg(A)}{2}}$$

и окончательно:

$$D = \frac{1329 * 10^{-H_0 / 5}}{\sqrt{A}} \text{ км.} \quad (3)$$

Для проверки точности полученной формулы найдем расчетные значения диаметров 25 самых крупных астероидов главного пояса (взяв в качестве исходных параметров значения  $H_0$  и  $A$  из табл.1) и сравним их с приведенными в таблице диаметрами. Для большей наглядности результаты вычислений представлены на диаграмме 1. Как видим, полученные значения находятся в хорошем согласии с табличными данными (максимальное отклонение 3 %, среднее – 1,7 %).

Сравнение значений диаметров астероидов главного пояса по данным каталога IRAS со значениями полученными по формуле 3



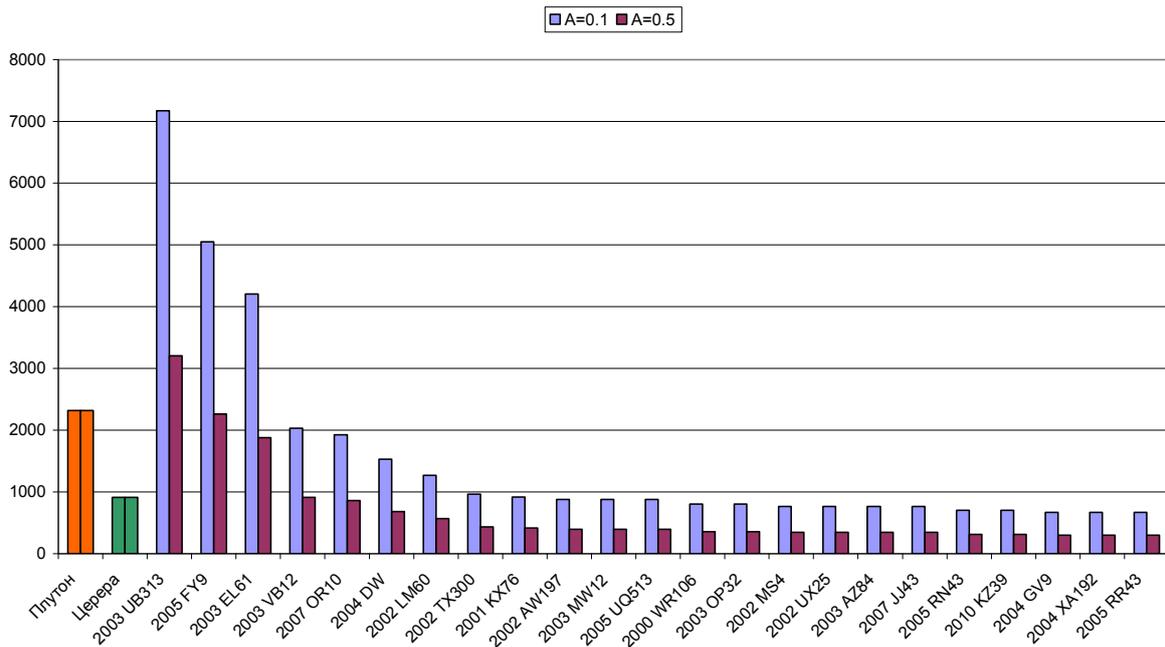
После того как мы разобрались в физике явления и получили пригодную для расчетов формулу, можно приступать к финальной части исследования.

### Численное моделирование

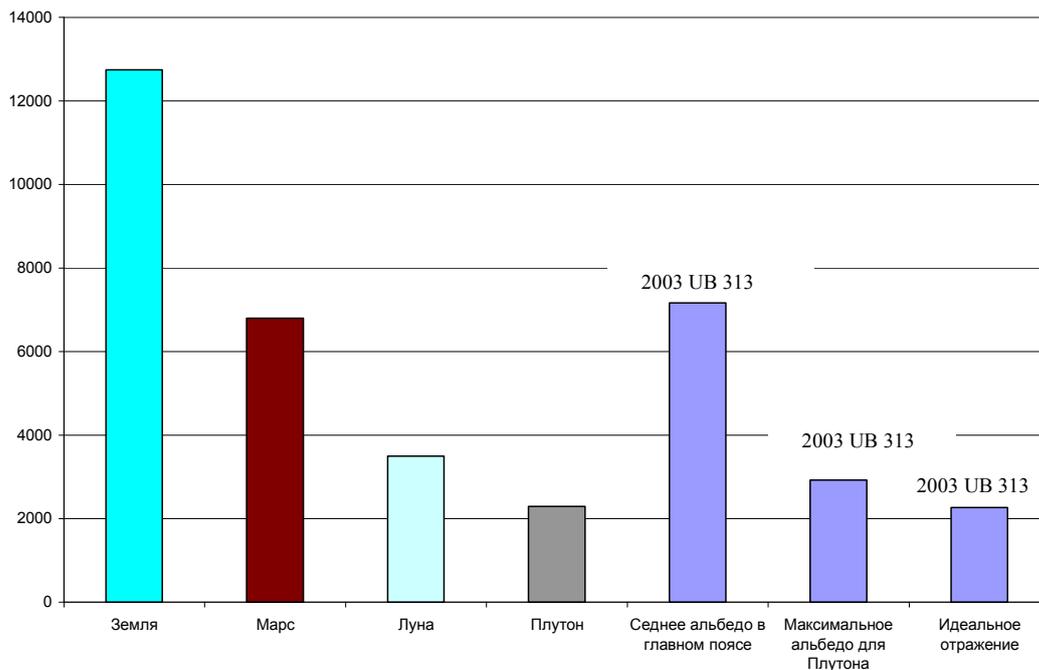
Попробуем вычислить диаметры транснептуновых объектов для различных возможных значений их поверхностной яркости (альбедо).

На следующей диаграмме представлены результаты численного моделирования размеров крупных объектов на границах солнечной системы для значений их альбедо 0.1 (среднее значение для 25 астероидов Главного Пояса) и 0.5 (усредненное значение для Плутона):

Вычисленные диаметры в километрах



Для самого крупного объекта (2003 UB313), ранее претендовавшего на звание планеты, ниже приведены модельные размеры по сравнению с некоторыми известными телами Солнечной системы в предположении значений его альbedo 0,1 – среднее значение для астероидов Главного Пояса; 0,6 – максимальное для Плутона, и 1 – идеализированное «абсолютно белое» тело).



Мы видим, что астероид Эрида (2003 UB313) превосходит по размерам Марс, если альbedo равно 0,1 (среднее для Главного пояса). Однако последние измерения блеска, проведенные в узкополосных спектральных диапазонах телескопом «*Spitzer*», позволили достаточно точно определить альbedo Эриды, оно примерно равно 0,96. Соответственно истинный размер 2003 UB313 составляет около 2300 км, т. е. примерно равен размеру Плутона, не так давно исключенного из числа планет.

## **Выводы**

Таким образом, мы рассмотрели способ вычисления размеров астероидов на основе анализа блеска, траектории и альbedo. И провели численное моделирование для 25 самых крупных астероидов пояса Койпера.

## **Список литературы**

1. Infrared Astronomical Satellite Asteroid and Comet Survey – IPAC, JPL D-3698, 1986.
2. IAU Minor Planet Center – <http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/TNOs.html>
3. IAU Minor Planet Center – <http://www.minorplanetcenter.net/iau/lists/Centaurs.html>
4. О «десятой планете» Солнечной системы – <http://www.compulenta.ru/2004/3/15/45697/>
5. Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики / Д.Я. Мартынов. – М.: Наука, 1971.

## **Приложение 1. Правила для наименований открываемых объектов**

Сегодня каждый новый обнаруженный объект получает предварительное обозначение, начинающееся с года открытия. Далее следует латинская буква, которая уточняет в каком месяце оно было сделано (учитываются каждые полмесяца, поэтому используются уже все 24 буквы латинского алфавита, кроме последней Z, и за исключением I, которая похожа на J). Поподробнее о буквах: A и B – это половины января (с 1 по 15 и с 16 по 31 числа соответственно), C и D – февраля, E и F – марта и т. д. За первой латинской буквой следует вторая, которая определяет простой порядковый номер открытия в заданном временном интервале (A-первый, B-второй ...). Буква «I» вновь пропускается, но зато Z теперь вполне приемлема, что дает возможность обозначить 25 малых планет от A до Z. Дальнейшее увеличение количества букв бессмысленно, поэтому вместо букв стали использовать цифровые указатели количества таких комбинаций.

Только после того как орбита нового объекта определена достаточно надежно, чтобы иметь возможность уверенно наблюдать его в будущем, встает вопрос о присвоении ему собственного имени. И занимается этим

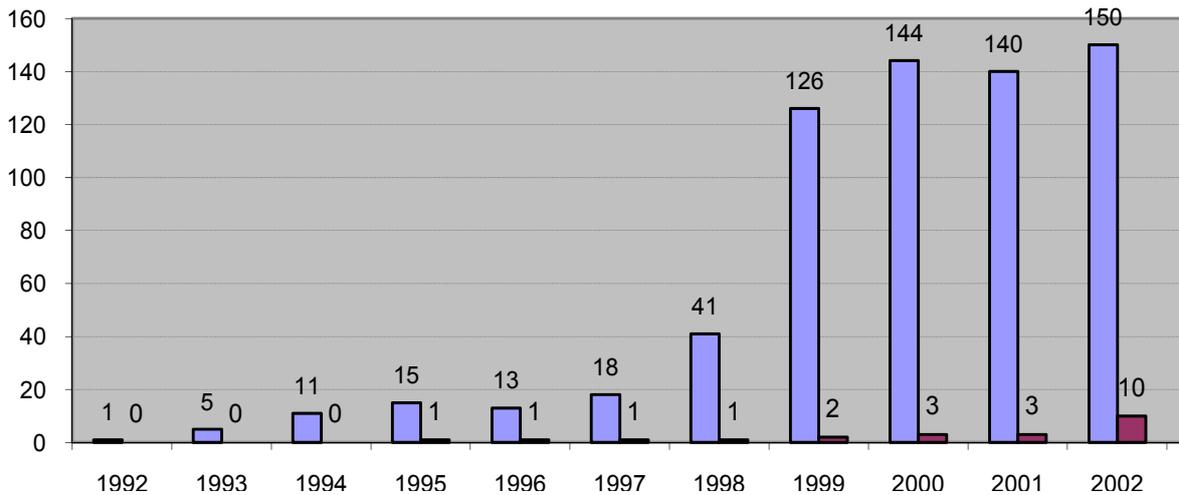
специальная комиссия международного астрономического союза (IAU). Основные требования комиссии просты: новое название не должно дублировать уже существующие; состоять предпочтительно из одного слова (не более чем из 16 символов) и быть удобопроизносимым. Нельзя предлагать звучащие непристойно на отдельных языках слова. Названия в честь военных и политических событий или связанных с ними людей могут предлагаться не ранее чем через 100 лет после их окончания (смерти).

## **Приложение 2.** Из истории открытия крупных объектов на границах Солнечной системы

В качестве первого объекта подобного класса можно рассмотреть Плутон. Долгие поиски гипотетической планеты X, гравитационное влияние которой смогло бы объяснить наблюдаемые отклонения в движении Урана и Нептуна, в конце-концов привели к открытию девятой планеты солнечной системы – Плутона. И произошло это 82 года назад, когда Клайд Томбо заметил чуть сместившуюся звездочку, сравнивая снимки от 23 и 29 января 1930г. После нескольких лет триумфа и накопления наблюдательных данных оказалось, что Плутон достаточно мал и не может быть причиной гравитационных возмущений на внешние планеты. Поиски возобновились с новой силой. В бой были брошены самые крупные телескопы. Однако более чем за полвека плановой работы в сети ученых никак не попадалось то, что могло бы оказаться еще одним большим космическим телом на окраинах нашей планетной системы. Долгое время Плутон считался ее последним крупным объектом (сразу после открытия его размеры сравнивали с Землей, но в конце-концов он «похудел» почти в 5 раз). И лишь долгопериодические кометы в своих возвращениях к перигелию (к Солнцу), убедительно свидетельствовали в пользу того, что на границах солнечной системы возможно существование других небесных тел, движущихся по околокруговым орбитам, и вечно скрывающихся во мраке космоса.

Первой ласточкой стало открытие в 1992 г. на обсерватории Мауна Кеа (Гавайи) объекта, который получил предварительное обозначение 1992 QB1. Дальнейшие исследования показали, что он движется по круговой орбите на расстоянии в 43,8 астрономических единиц, затрачивая на один полный оборот около 290 лет. Авторы открытия (Д. Джюит и Дж. Лу) хотели дать ему имя Smiley, но в реестре международного астрономического союза уже была малая планета с таким именем (№1613), поэтому новый астероид так и остался с цифро-буквенным обозначением. И положил название целому классу небесных объектов, обращающихся вокруг Солнца на расстояниях более 41 а.е. и не испытывающих резонансных возмущений со стороны главных планет. Теперь их относят к классу «Кубевано» (латинизированное «КуБеУан» от английского «QB1»).

Динамика открытий транснептуновых объектов с 1992 до 2005 г.



Можно заметить, что крупные объекты пояса Койпера начали открываться только с середины 1990-х, в эпоху развития новых приемников излучения. Значительный спад открытий за два последних года, по всей видимости, связан с тем, что ученые перенаправили свои усилия с простого поиска на детальное изучение уже известных объектов.

### Приложение 3. Более тонкие физические модели

Использование ряда математических моделей позволяет попытаться учесть и более тонкие эффекты, связанные с изменением фазового угла и отражающими свойствами (альбедо) поверхности астероида.

$$m = H_0 + 5 \cdot \log(r) + 5 \cdot \log(d) + P(\alpha),$$

где  $P(\alpha)$  – некая «фазовая функция». Последнее слагаемое нельзя посчитать прямо. Но существует несколько приближенных способов.

В первом приближении эту зависимость можно представить как:

$$P(\alpha) = 0.3 + 0.03 \cdot \alpha,$$

где угол  $\alpha$  выражен в градусах. Такая формула дает точность около 0,1 звездной величины в диапазоне фазовых углов  $\alpha$  от 5 до 50 градусов.

Для более точных вычислений необходимо знать так называемый наклонный параметр (в англоязычном написании «slope parameter»)  $G$  и использовать формулы вида:

$$P(\alpha) = -2.5 \cdot \log [(1-G) \cdot \Theta_1 + G \cdot \Theta_2],$$

где  $\Theta_1$  и  $\Theta_2$  достаточно сложные функции, аппроксимируемые выражениями типа:

$$\Theta_{(1,2)} = \exp \{-A_{(1,2)} \cdot [\tan(\alpha/2)]^{B_{(1,2)}}\},$$

с константами  $A_1 = 3,33$ ;  $A_2 = 1,87$ ;  $B_1 = 0,63$ ,  $B_2 = 1,22$ .

В реальной ситуации параметр  $G$  практически никогда не известен с достаточной точностью. Поэтому для большинства астероидов он принимается равным  $G = 0,15$ , что позволяет достаточно хорошо описывать изменения блеска на средних фазовых углах (примерно до  $0,1$  зв.вел.).

Если проведены специальные исследования (изменение блеска в разных спектральных диапазонах и на широких диапазонах фазовых углов), то данные о свойствах поверхности конкретной малой планеты можно значительно улучшить.

Можно отметить, что существуют некие усредненные значения  $G$  для астероидов разных классов:  $0,09$  для темных астероидов (C, D, T...);  $0,23$  для более светлых (S, M) и до  $0,40$  у астероидов с наибольшим альбедо (E, V). Соответствующие средние значения альбедо для «темных, светлых и ярких» астероидов принято считать  $A = 0,06$ ,  $0,18$  и  $0,40$  соответственно.

Тогда готовые приближенные зависимости  $P(\alpha)$  будут выглядеть так:

$$P(\alpha) = 0,35 + 0,035 * \alpha \quad \text{для темных (C, T, D, ...)}$$

$$P(\alpha) = 0,30 + 0,029 * \alpha \quad \text{для средних (S, M)}$$

$$P(\alpha) = 0,22 + 0,024 * \alpha \quad \text{для ярких (E, V),}$$

где  $\alpha$  по-прежнему находится в диапазоне  $5$ - $50$  градусов.

УДК 51-7

## **ЗОЛОТАЯ ПРОПОРЦИЯ В МАТЕМАТИКЕ, ХИМИИ, КРИСТАЛЛОГРАФИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЗАКОНАХ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ**

**А.А. Прокопьев, И.Ю. Петрова**  
**Научный руководитель С.Л. Крафт**  
*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время нам совершенной представляется метрическая система мер с ее единственным эталоном – простым и удобным метром. Но человек всегда, приобретая одно, теряет другое. С введением в обиход метра мы потеряли естественную, гармоническую систему мер наших предков, основанную на пропорциях человеческого тела. Мы получили простую и удобную, но обезличенную, чуждую человеку «мертвую» систему мер длины. Отказавшись от системы саженей – хорошо продуманной, основанной на гармонии пропорций, мы постепенно ушли и от гармонических принципов построения архитектурных сооружений. Вместо сложных,

близких к природе, очеловеченных пропорций здания с множеством округленных очертаний, мы пришли к убогой прямолинейности геометрически правильных сооружений. В старину были приняты локти, футы, различные сажени. Фут в свою очередь выступал «строительным модулем».

В Древней Руси строители использовали сажени и их разновидности. Долгое время считали, что зодчие Древней Руси строили все «на глазок», без особых математических расчетов. Однако новейшие исследования показали, что русские архитекторы хорошо знали математические пропорции. В работах Б.А. Рыбакова и И.Ш. Шевелева прослеживается связь золотой пропорции с классификацией сажени.

Графическим выражением двух систем мер длины Древней Руси (одной, основанной на простой сажени, и другой, основанной на мерной сажени) являются, по мнению Б. А. Рыбакова, хорошо известные «вавилонны», которые представляют собой систему вписанных квадратов и прямоугольников. Наименование «вавилонны» взято из русских источников XVII в. и служит отражением схематического изображения в плане знаменитого храма-зиккурата – Вавилонской башни. Для построения мерного «вавилонна» Б. А. Рыбаков в качестве основы берет мерную сажень, равную 176,4 см (по разным источникам ее величина колеблется между 176,0 и 176,8 см). На основе этой сажени строится квадрат, а затем и прямоугольный «вавилон», длинная сторона которого равна мерной сажени, а короткая – 2/3 от нее.

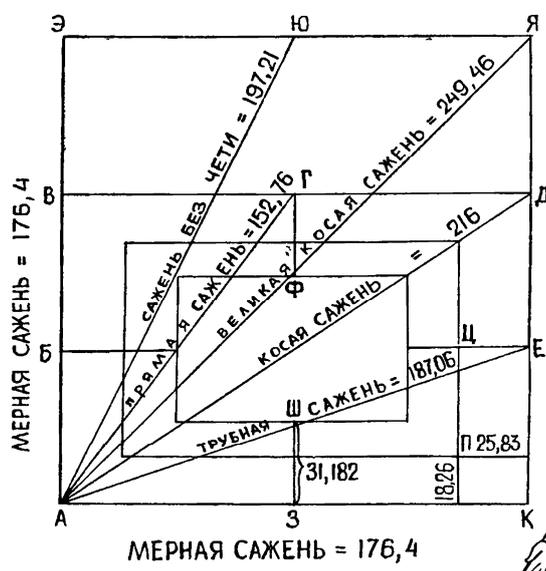


Рис. 1

Из полученной таким образом геометрической фигуры Б. А. Рыбаков вывел все виды древнерусских сажени. Великая сажень – диагональ квадрата, сажень без чети – диагональ половины квадрата, мерная сажень – сторона квадрата, косая сажень – диагональ прямоугольного «вавилонна»,

прямая сажень – диагональ короткой половины «вавилона», трубная сажень – диагональ длинной половины «вавилона» и т. д. Все сажени оказываются связанными в удивительно простую и стройную геометрическую систему, содержащую систему мер Древней Руси. Оказалось, что из построений «вавилона» вытекают не только сажени, но и другие меры длины. Так, отрезки БТ и ЕЕ на рисунке отвечают локтю (44,1 см) и равны 1/4 мерной сажени. Отрезки ГФ и ШЗ равны 1/2 локтя «смоленского» и равны 1/8 великой сажени.

Многие ученые считают первооткрывателем золотой пропорции Пифагора. Именно он с помощью своих знаменитых треугольников вывел эту пропорцию, а ведь таковой была наука древнего мира.

Рассмотрим, например, простейший прямоугольный треугольник с отношением катетов 1:2 .

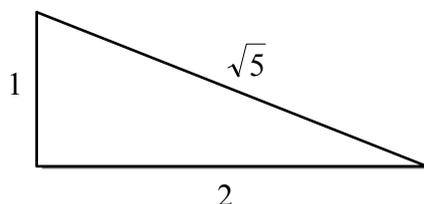


Рис. 2

В этом треугольнике величина малого катета равна 1, а большого – 2. По теореме Пифагора длина гипотенузы в нем равна  $\sqrt{5}$ . Этот треугольник был хорошо известен в древнем мире, во многих сооружениях того периода преобладают пропорции, равные отношениям катетов и гипотенузы прямоугольного треугольника со сторонами 1:2:  $\sqrt{5}$ .

Рассмотренный треугольник был, конечно, хорошо известен и Пифагору, и мог послужить основой для развития различных математических идей или для их подтверждения. Величина гипотенузы такого треугольника, равная  $\sqrt{5}$ , могла дать начало открытию несоизмеримых или иррациональных чисел. К тому же число «пять» у пифагорейцев считалось священным и служило своеобразным символом их союза.

Соотношения сторон а, б, с данного треугольника очень простые и понятные каждому, знающему основы геометрии:  $a/b = 1:2$ ,  $c/a = \sqrt{5}/1$ ,  $c/b = \sqrt{5}/2$ . Однако из этих величин следует и еще одно отношение  $(a + c)/b = (1 + \sqrt{5})/2$ , равное 1,618033... Это и есть золотая пропорция, которую обычно обозначают буквой Ф. Как видим, эта замечательная пропорция буквально лежала на поверхности – ее нужно было только увидеть.

Соотношения золотой пропорции четко прослеживаются и в Египетских пирамидах, появившихся задолго до рождения великого ученого Пифагора.

Рассмотрим размеры пирамиды Хеопса (рис. 3).

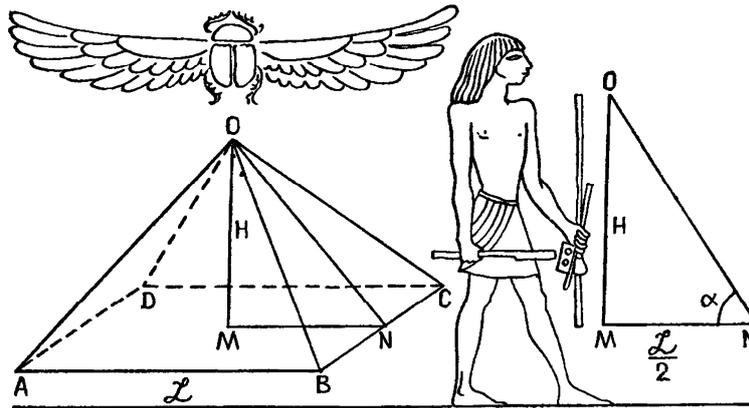


Рис. 3

Длина стороны основания пирамиды ( $L$ ) принята равной 233,16 м, 500 локтей. Высота пирамиды ( $H$ ) оценивается исследователями различно от 146,6 до 148,2 м. Угол наклона граней пирамиды еще в 1837 г. определил английский полковник Г. Вайз: он равен  $51^{\circ}51'$ . Его величина и сегодня признается большинством исследователей, а указанному значению угла  $\alpha$  отвечает тангенс ( $\text{tga}$ ), равный 1,27306. Эта величина, отвечающая отношению высот пирамиды к половине ее основания, очень близка к корню квадратному золотой пропорции  $\Phi = 1,27202$  и является иррациональной величиной. Есть основания предполагать (это будет видно из изложенного дальше), что в основу треугольника  $OMN$  пирамиды Хеопса и было заложено отношение  $OM/MN$ , равное  $\sqrt{\Phi} = 1,272$ . Если принять угол  $\alpha$  равным  $51^{\circ}50'$ , т.е. уменьшить всего на одну угловую минуту, величина  $\text{tg } \alpha$  станет равной 1,272. Следует отметить, что, по данным М. Гика, угол наклона граней пирамиды, измеренный в 1840 г. тем же Г. Вайзом, равен  $50^{\circ}50'$ . Итак, примем первоначальный угол наклона граней пирамиды равным  $51^{\circ}50'$ , а отношение катетов, т.е. высоты пирамиды  $H$  к половине ее основания, равным 1,272. При этом высота пирамиды Хеопса будет равна точно 318 локтей, или 148,28 м. Вот такую высоту, очевидно, имела пирамида Хеопса при завершении ее сооружения (или должна была иметь по проекту; а у каких строителей не бывает отклонений от проекта?!). Таким образом, основные элементы конструкции пирамиды имели следующие размеры: сторона основания – 500 локтей, высота – 318 локтей. Отсюда следует, что апогема боковой грани  $ON$  равна 404,5 локтя (здесь дробная часть локтя не должна удивлять, ведь этот размер пирамиды не замерялся во время строительства, а являлся производным). Итак, мы реконструировали основные размеры пирамиды фараона Хеопса, определяющие ее архитектурную идею. А теперь посмотрим, какие интересные соотношения следуют из этих геометрических размеров. Отношения сторон в треугольнике  $OMN$  пирамиды равно:  $OM/MN = ON/OM = 1,272 = 1/\Phi$ ;  $ON/MN =$

1,618 =  $\Phi$ . Как видно, отношение длины апофемы боковой грани к половине стороны ее основания отвечает золотой пропорции.

Исследователями уже давно отмечена очень тесная связь золотой пропорции с числами Фибоначчи, которые представляют собой ряд чисел, где последующее число равно сумме двух предыдущих  $U_1, U_2 \dots U_n$ , где  $U_n = U_{n-1} + U_{n-2}$ . Такие последовательности, в которых каждый член является функцией предыдущих, называют в математике рекуррентными, или возвратными последовательностями. Рекуррентным является и ряд чисел Фибоначчи, а члены этого ряда называют числами Фибоначчи. Оказалось, что они обладают рядом интересных и важных свойств. Спустя четыре столетия после открытия Фибоначчи ряда чисел И. Кеплер (1571—1630) установил, что отношение рядом стоящих чисел в пределе стремится к золотой пропорции на языке математики это выражается формулой  $U_{n+1} / U_n \rightarrow \Phi$  при  $n \rightarrow \infty$ . Здесь  $\Phi = 1.61803 \dots$

Связь чисел Фибоначчи с законами развития живой и неживой природы также отмечена учеными, эти числа оказывают влияние и на соотношение количественного состава соединений в химии. В XVII в. химики накопили значительный объем знаний, научились разлагать многие сложные вещества на простые, из простых получать сложные. Выяснили, что соединения имеют строго постоянный состав, независимый от условий их образования. Если же соединений несколько, то состав их изменяется скачком, от одного постоянного к другому, и в формулах соединений встречаются числа Фибоначчи.

В мире неживой природы большую роль играет симметрия. У кристаллов горных пород можно встретить виды симметрии с осями третьего, четвертого, шестого порядка. В живой природе также много примеров проявления золотой пропорции и чисел Фибоначчи. Было установлено, что число органов у растений изменяется не непрерывно, принимая любые значения, а дискретно, скачками, и этими дискретными величинами являются числа Фибоначчи. Законы последовательного расположения листьев, чешуек, семян называют филлотаксисом. В явлении филлотаксиса сконцентрированы многие важнейшие закономерности строения и развития организмов: 1) принцип роста (членения целого на части) в соответствии с рядом чисел Фибоначчи, 2) спиральность развития, 3) винтовая симметрия (которая проявляется от строения ДНК и РНК до раковин моллюсков и тела человека), 4) единство непрерывного и дискретного в развитии.

Разнообразие живых организмов разобщает их, дробит живую природу на множество представителей, между которыми так много различий и так мало общего, но общее есть. В расположении чешуек рыб, строении раковин, как древних, так и современных, проявляются закономерности чисел Фибоначчи и золотой пропорции. У многих насекомых соотношение размеров грудной и брюшной части тела отвечает золотой пропорции. Да-

же развитие скелета животных характеризуется дискретным изменением числа костей в различных органах животных, и эти числа отвечают числам Фибоначчи или очень близки к ним, образуя ряд 3, 5, 8, 13, 21, 34... Кроме того, на молекулярном уровне организации различных организмов проявляются закономерности золотой пропорции и чисел Фибоначчи. Например, число хромосом, являющихся носителями молекул ДНК, в растениях и животных различных видов. По-видимому, к таким общим принципам организации организмов, основ их морфологии и развития относятся закономерности золотой пропорции и чисел Фибоначчи.

Таким образом, можно отметить, что числам Фибоначчи и законам золотой пропорции, с которой они тесно связаны, подчиняется как все живое на Земле, так и застывшая природа, а также творения рук человека, которые воспринимаются нами как гармоничные. По всей вероятности, это происходит потому, что мы сами устроены по законам золотой пропорции.

УДК 575.829

## **ВЗАИМООТНОШЕНИЯ «СВОЙ-ЧУЖОЙ» КАК ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЩИХ НА СКОРОСТЬ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА**

**А.А. Тарасова**

**Научный руководитель О.А. Золотов**  
*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время оппозиция «свой-чужой» изучена достаточно обширно. Исследователи разных специальностей (социология, политология, лингвистика, культурология, философия и др.) обращаются к данной проблематике, чтобы вскрыть и обнаружить, с одной стороны – параметры, маркеры, по которым определяют принадлежность к той или иной области, а с другой – смысловые и сущностные характеристики, которыми наделяют «своих» и «чужих» в современном пространстве. В естественных же науках данная тема мало изучена. Несмотря на то, что взаимоотношения «свой-чужой» могут прямым образом влиять на скорость эволюции.

Своим возникновением концепты «свой-чужой» восходят к биологии – науке, изучающей эти взаимоотношения как необходимую составляющую функционирования механизмов естественного отбора. Здесь данная оппозиция закономерна и необходима, она лежит в основе эволюции. Согласно исследованиям зарубежного ученого К. Лоренца, **присутствие внешнего врага – «чужого» (зачастую очень напоминающего «своего»)**

**считается условием устойчивого существования простейших сообществ, и спасает от агрессии представителя вида на его собственный род и вид.**

Наблюдая за поведением самцов рыб, он обнаружил, что в случае отсутствия внешнего соперника, посягающего на контролируемую территорию, самцы могут перенести свою агрессию на собственную семью и уничтожить ее.<sup>1</sup>

**К. Лоренц в своих трудах выявляет, что механизмы распознавания «своих» и «чужих» берут свою основу в формировании стереотипов, присущих всем живым существам на всех уровнях биологической эволюции.**

Бактерия классифицирует химические компоненты среды на аттрактанты и репеленты и реализует по отношению к ним две стереотипные поведенческие реакции; гуси знают, что «все рыжее, большое и пушистое очень опасно» (К. Лоренц) и т.д.<sup>2</sup>

**К. Лоренц выделяет социальный характер, присущий стереотипу в распознавании «чужого» в живой природе:**

В стабильной волчьей стае присутствует ритуал подчинения-доминирования, который поддерживает устоявшуюся иерархию и избавляет стаю от внутренних конфликтов. Но чужак, даже если он искусен в ритуале подчинения, будет убит, так как ему нет места в сложившейся иерархии. Поэтому любое внешнее вторжение для иерархически организованной системы воспринимается как «чужеродное».<sup>3</sup>

Так, заложенная от природы агрессивность в неестественных условиях регулируется иными биологическими мотивами. В таких случаях побеждает сильнейший физически и простейший – экземпляр, который в природных условиях совершенно не пригоден для целей видового выживания.

По мнению К. Лоренца и др. ученых, современное общество организовано так, что **природный инстинкт агрессивности, присущий человеку, не находит адекватного способа выхода.** Поэтому индивид страдает от того, что не может в достаточной мере реализовать свои природные инстинктивные потребности и побуждения (он не может напасть и атаковать врага ввиду опасности наказания, но также не может избежать и его присутствия). «Подавленная агрессивность порождает те неврозы, которые реализуются, с одной стороны, в форме гипертрофированно агрессивных политических теорий (снятие запрета на атаку жертвы, несмотря на присутствие стадного врага), с другой – в форме «гуманистических» мечтаний,

---

<sup>1</sup> Савельев А.. Образ врага. Расология и политическая антропология/ А. Савельев, 2006// <http://savelev.ru/books/content/?b=16>

<sup>2</sup> Там же

<sup>3</sup> Там же.

подобных превращению социума в разбредшееся стадо, забывшее образ врага, утратившее представление об опасности».<sup>4</sup>

Отечественные ученые также посвящали этой теме свои исследования.

**Бурцев М.С. провел ряд компьютерных исследований, доказав, что модели типа искусственной жизни позволяют исследовать не только, как одна эволюционная стратегия сменяет другую, но и сами механизмы возникновения стратегий.**<sup>5</sup>

Им была предложена новая модель для исследования эволюции кооперации, базирующаяся на методе искусственной жизни. Модель отличается более широким, по сравнению с существующими аналогами, спектром возможных стратегий поведения агентов, что позволяет более детально исследовать механизмы возникновения кооперативного поведения и его устойчивости.

При помощи модели исследованы условия возникновения кооперации и зависимость поведения модели от изменения количества ресурсов, доступных агентам. Был проведен анализ, как изменение возможностей для взаимодействия между агентами, происходящее при введении фенотипических маркеров или при увеличении доступного ресурса, влияет на кооперативное поведение.

Для того чтобы понять, как родственный отбор влияет на эволюцию в модели, он провел эксперимент, воспользовавшись методом исследования эволюции стратегий поведения в популяции. По мнению М. Бурцева, **родственность играет важную роль при взаимодействиях агентов, поэтому будем рассматривать поведение агентов только в тех ситуациях, когда в клетке находятся два агента, которые могут быть родственниками или чужаками.** Кроме того, он проследил, как будет меняться поведение агентов в этих ситуациях для разных значений накопленного ресурса.

Результаты эксперимента показали следующее:

В течение первого периода численность популяции примерно равна числу клеток в среде, все агенты в популяции обладают той или иной агрессивной стратегией. Подавляющее большинство агентов следует стратегиям, заключающимся в избегании конкуренции с родственниками за ресурс и нападении на чужаков.

Второй период начинается с появления в популяции новой кооперативной стратегии. Следующие этой стратегии агенты остаются в одной клетке с родственниками до тех пор, пока им хватает ресурса. Успешность

---

<sup>4</sup> Савельев А.. Образ врага. Расология и политическая антропология/ А. Савельев. 2006// <http://savelev.ru/books/content/?b=16>

<sup>5</sup> Бурцев М.С. Исследование новых типов самоорганизации и возникновения поведенческих стратегий: дисс. ... канд. физ.-мат. наук / М.С. Бурцев. – Москва, 2005.

этой стратегии связана с тем, что каждый агент в отдельности может владеть ресурсом по максимуму, а, находясь в одной клетке, родственники в сумме могут накопить ресурс больший  $\mu$ , и, следовательно, при борьбе чужака с несколькими родственниками, вероятность выживания одного из родственников будет выше вероятности выживания чужака. Таким образом, если в первом периоде родственники кооперировались за счет избегания конкуренции за ресурс, то теперь они начинают кооперироваться за счет совместной обороны. Для совместной обороны выгодно иметь в клетке как можно больше родственников, что приводит к появлению и распространению быстро делящихся агентов, так как при делении половина ресурса родителя передается потомку, то средний по популяции ресурс быстро падает. В популяции начинают доминировать стратегии, когда агент не нападает на чужака, а пытается от него убежать, при этом за счет высокой скорости деления ресурс таких агентов низок и нападение на них не выгодно. Все это приводит к вымиранию агентов с агрессивными стратегиями к концу второго периода.

В начале третьего периода численность популяции быстро достигает максимального. В третьем периоде агенты с агрессивными стратегиями отсутствуют, при этом в популяции присутствуют как агенты с родственными стратегиями, так и агенты, не отличающие родственников.<sup>6</sup>

Устойчивость третьего периода «мирного состояния популяции» вызвана высокой летальностью макромутаций, связанных с появлением действия «напасть». То есть стабильность существования режима, в котором отсутствуют агрессивные агенты, связана с «трудностью» мутационного перехода к агрессивным стратегиям, а не с устойчивостью «мирных» стратегий к вторжению агрессивных. Если в «мирную» популяцию добавить несколько взятых наугад агентов из первого «хищнического» периода, то система быстро перейдет в режим, соответствующий первому периоду.

При использовании теории игр для моделирования взаимодействия животных принято давать названия стратегиям поведения. Наличие в модели возможности изменения поведения в зависимости от разных маркеров партнера позволяет выявить несколько стратегий. Так, например, агенты, всегда проявляющие агрессивность в отношении партнера, называются «ястребы», а всегда избегающие конфликта – «голуби». Кроме ястребиных и голубиных стратегий в исследуемой модели присутствует стратегия «буржуа». Она заключается в том, что агент не посягает на «собственность» других агентов, т.е. остается в своей клетке, но защищает «свой» ресурс, нападая на любого, пришедшего на его территорию.

---

<sup>6</sup> Бурцев М.С. Исследование новых типов самоорганизации и возникновения поведенческих стратегий: дисс. ... канд. физ.-мат. наук / М.С. Бурцев. – Москва, 2005.

Агентам, избегающим конкуренции за ресурс с родственниками и нападающим на чужаков характерна стратегия «ворона», при прибегании к кооперативной защите от хищника используется стратегия «скворца».<sup>7</sup>

Стратегии, выявленные М. Бурцевым<sup>8</sup>

Стратегия	Описание
Голубь	Отсутствие действия «нападать» для всех ситуаций
Ястреб	Агент не различает родственников и среди его действий присутствует стратегия «нападать»
Буржуа	Ни в одной из ситуаций агент не покидает клетки. Если в клетке появляется другой агент, то на него производится нападение
Ворон	Ни в одной из ситуаций агент не нападает на родственника, и хотя бы в одной ситуации нападает на не родственника.
Скворец	При значении внутреннего ресурса $\geq 0,5r_{max}$ агент не покидает клетку с родственником (действия «отдыхать» или «делиться»), и нападает на не родственника

Таким образом, анализ данных исследований позволяет сделать вывод, что наличие биологических врагов, а также взаимодействие «своей-чужой» – фактор, определяющий скорость эволюции. Согласно К. Лоренцу **присутствие внешнего врага – «чужого» считается условием устойчивого существования простейших сообществ, и спасает от агрессии представителя вида на его собственный род и вид.** Исследования М. Бурцева показывают, что конкуренция за ресурс между родственниками практически отсутствует, а, следовательно, отсутствует и вызываемое ей давление отбора. В случае же, если агенты могут нападать друг на друга, то присутствует родственный отбор в сторону ненападения на родственников. Поэтому в популяции частота агентов, способных дифференцировать свое поведение в отношении родственников, растет вместе с частотой агрессивных агентов.

<sup>7</sup> Там же.

<sup>8</sup> Там же.

# ГЕОЛОГИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

УДК 553.08

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ИЗУЧЕНИЯ ГАЗОВО-ЖИДКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В КВАРЦЕ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ НОВОЕ (ЕНИСЕЙСКИЙ КРЯЖ)

**А.А. Белозерова, В.А. Соколов**  
**Научный руководитель В.А. Макаров**  
*Сибирский федеральный университет*

Рудопроявление Новое расположено в северо-восточной части Енисейского кряжа в пределах Дюбкошской лицензионной площади в полосе развития пород сухопитской серии. Породы данной серии имеют широкое распространение в районе и участвуют в строении Дюбкошского грабена. В металлогеническом плане рудопроявление относится к Советскому золоторудному узлу.

В 80-90-х гг. поисковыми работами на рудное золото было выявлено рудопроявление Новое и отнесено к бесперспективным (Лохмаков, 1986; 1990). В 2010 г на Дюбкошской лицензионной площади был проведен комплекс лито- и биогеохимических работ, по результатам которых были выявлены комплексные аномалии золота и мышьяка, в том числе на рудопроявлении Новое. В 2011 г. аномалия в пределах рудопроявления Новое была вскрыта траншеями и разбурена сетью поисковых скважин.

В ходе горных и буровых работ на рудопроявлении были отобраны образцы вмещающих горных пород, а также жильного кварца для проведения лабораторных исследований. Из отобранных образцов были изготовлены шлифы, аншлифы, плоскопараллельные кварцевые пластины для изучения ГЖВ, протолочки кварца для проведения хроматографического анализа.

Описание шлифов и аншлифов проводилось на микроскопах Аxioskop40-A Pol (ZEISS, Германия). Изучение ГЖВ проводилось в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск).

Макроскопическое и микроскопическое изучение образцов из минерализованных зон позволило выделить на рудопроявлении Новое как минимум 3 генерации кварца:

Кварц I генерации представлен небольшими по размеру параллельными сланцеватости скоплениями изометричных зерен (размером до первых миллиметров) и согласными прожилками мощностью до 5 мм. Скорее всего обладает метаморфическим генезисом и образовался в процессе перераспределения вещества при изменении параметров давления и температуры.

Кварц II генерации слагает прожилки и маломощные жилы (5-10 до 25-30 см, единичные жилы до 70-80 см) и представлен двумя разновидностями – серой и белой. Происхождение, по-видимому, гидротермально-метасоматическое.

По отношению к вмещающим породам кварцевые жилы, сложенные кварцем второй генерации, носят как секущий, так и субсогласный характер. С ними связана золотая минерализация. Золото формируется в заключительный этап и располагается в межзерновом пространстве и по трещинам в кварце.

Кварц III генерации относится к низкотемпературной гидротермальной ассоциации и представлен секущими прожилками кварц-карбонатного состава различной мощности – от первых миллиметров до 1-2 см – и различного соотношения компонентов. Размер зерен зависит от мощности жил, может достигать первых миллиметров, ближе к контакту с вмещающими породами размерность уменьшается.

Сульфидная минерализация в рудоносных минерализованных зонах представлена преимущественно пиритом, пирротинном и арсенопиритом. Редко отмечаются зерна халькопирита в кварц-карбонатных прожилках. В кварцевых прожилках размер зерен сульфидов увеличивается. Отмечается приуроченность сульфидной минерализации ко всем трем генерациям кварца.

Для термобарогеохимических исследований были отобраны образцы жильного кварца, представленные второй генерацией с различными содержаниями золота, из которых делалась плоскополированная пластина, толщиной 0,2-0,3 мм. Остаток материала был раздроблен, из него выделена фракция 0,25 мм для определения газовой составляющей флюидов методом газовой хроматографии.

Практически все изученные образцы представляют собой смесь белого и серого кварца, что в целом характерно для известных золоторудных месторождений Енисейского кряжа. В кварце присутствуют первичные включения и преобладающие вторичные. Первичные включения можно разделить на три типа: 1 – существенно водные двухфазные (вода и водный пар); 2 – двухфазные (при комнатной температуре) углекислотные (при охлаждении отделяется третья фаза – газовая углекислоты) (рис. 1 и 2); 3 – трехфазные гиперсолёные (единичные включения) с кристалликом NaCl. Первичные включения преимущественно располагаются вдоль плос-

костей роста в кварце либо отмечаются как одиночные включения в пределах зерна, правильной формы, с ровными границами.



*Рис. 1. Двухфазное углекислотное первичное включение (комнатная температура), увеличение  $\times 80$*



*Рис. 2. Двухфазное углекислотное первичное включение (температура  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Жидкая фаза углекислоты замерзла, увеличение  $\times 80$*

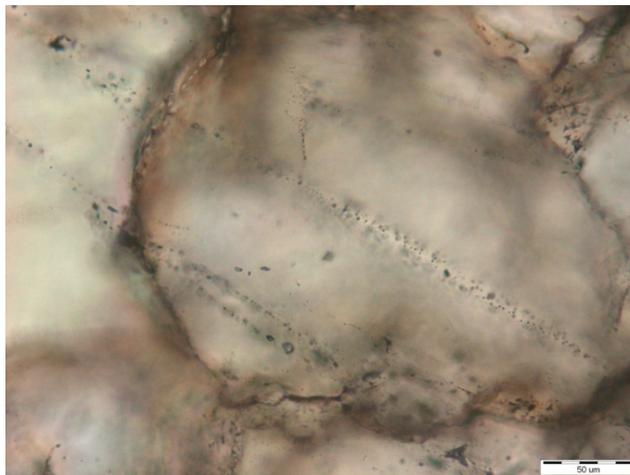
Температура гомогенизации первичных водных включений составляет от  $170$  до  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ , углекислотные и гиперсолёные при температуре выше  $240\text{ }^{\circ}\text{C}$  вскрываются, возможно, за счет избыточного давления во включениях (от  $1,5$  до  $2,3$  кБар). Соленость водных включений составляет  $21-22$  масс.%, NaCl-экв., углекислотных – от  $3-4$  масс.%, NaCl-экв., гиперсолёных –  $>30$  масс.%, NaCl-экв.

Вторичные включения преимущественно водные двухфазные, приурочены к трещинам в кварце и границам зерен, большинство включений «расшнурованные» (рис. 3). Температуры гомогенизации составляют от  $170$  до  $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но отмечаются редкие включения с температурами в пределах  $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Соленость вторичных включений варьирует в пределах от  $11$  до  $16$  масс.%, NaCl-экв.

Газовая составляющая флюидов по данным газовой хроматографии представлена  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и в меньшей степени другими углеводородами (гомологами метана:  $\text{C}_2\text{H}_2$ - $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ). Флюидонасыщенность кварцев меняется от  $646$  до  $2166$  мг/кг.

Криометрические исследования включений, содержащих фазу  $\text{CO}_2$ , позволяют выявить две объективные температурные характеристики: температуру плавления содержимого включений ( $T_m$ ) и температуру гомогенизации углекислотной фазы ( $T_h$ ), соответствующую эвтектике газовой смеси (твёрдое состояние жидкости) и критической температуре  $\text{CO}_2$  (жидкость – газ) [1]. Оттаивание вещества в таких включениях происходит при температурах  $-66\dots-64\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что значительно ниже температуры плав-

ления чисто углекислотных включений. Понижение температуры плавления указывает на содержание в фазе углекислоты примеси других газов.



*Рис. 3. Вторичные включения, приуроченные к трещинам, рассекающим зерна кварца*

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что потенциально золотоносные жилы, сложенные кварцем второй генерации, формировались в несколько этапов:

1-й этап метаморфогенный, первичные включения заполнены углекислотой и водно-солевым раствором. Температура гомогенизации более 240 °С (точную определить не удалось, так как включения вскрылись), давление 1,5 – 2,3 кБар.

2-й этап гидротермальный, вторичные включения представлены преимущественно водно-солевыми растворами с температурами образования до 420°С.

При сравнении данных, полученных при исследовании ГЖВ рудопроявления Новое, с материалами, изложенными в статье Томиленко А.А. [2] по месторождению Советское, отмечается схожесть происхождения и состава первичных флюидных включений в кварце. Таким образом, на рудопроявлении Новое можно ожидать схожий тип оруденения.

### **Список литературы**

1. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия // М.: Академический проект, 2008 год, с. 222.
2. Томиленко А.А., Гибшер Н.А. Особенности состава флюида в рудных и безрудных зонах Советского кварц-золоторудного месторождения, Енисейский кряж (по данным изучения флюидных включений) // Геохимия №2, 2001 год, с. 167-177.
3. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца // М: Недра, 1984 год, с. 149.

## **ТЕХНОЛОГИЯ НАРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ ИЗ НАГРЕТЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СУВЕНИРНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Г.В. Белоконов**

**Научный руководитель С.А. Ананьев**

*Сибирский федеральный университет*

Целью данной работы является получение сувенирной продукции, используя оригинальную технологию наращивания кристаллов.

Для достижения цели был поставлен ряд задач. Прежде всего, было необходимо изучить сам процесс кристаллизации, как он протекает и при каких условиях. Также нужно было подобрать вещество, кристаллы которого будут получаться в процессе наращивания. После выбора вещества следовало установить, на каких материалах (подложках) может осуществляться наращивание. Для отладки производства готовой продукции также необходимо подобрать оборудование и технологический режим.

В природе образование кристаллических веществ может происходить различными путями: магматическим, осадочным, метаморфическим. Один из процессов природного минералообразования – гидротермальный, который традиционно является постмагматическим, представляет собой образование минералов, происходящее в земной коре на средних и малых глубинах с участием горячих водных растворов. Насыщенный раствор при смене условий, в которых он находится (температура, давление, состав и концентрация компонентов), способен раскристаллизоваться. Одним из главных факторов, ведущих к кристаллизации минералов из растворов, является температура. Чем равномернее и медленнее происходит остывание раствора, тем правильнее, качественнее и больше по размерам растут кристаллы.

Принцип искусственного процесса выращивания кристаллов основан на том, что при повышенной концентрации растворенного вещества в растворе избыток выходит из него, образуя твердую фазу. Большую часть опытов по выращиванию кристаллов проводят по технологии испарения воды с поверхности раствора. Благодаря испарению достигается повышенная концентрация растворенного вещества. Этот способ достаточно прост в применении, позволяет достичь определенных результатов, имеет свои плюсы и минусы.

В предлагаемой технологии наращивания кристаллов повышение концентрации растворенного вещества достигается за счет температурного воздействия на раствор без испарения воды, при этом количественные отношения компонентов остаются неизменными, в отличие от способа выращивания кри-

сталлов за счёт испарения. Раствор нагревается и в нем растворяется вещество для кристаллизации. При повышении температуры раствора он способен растворить в себе большее количество вещества. При последующем остывании минеральная составляющая выпадает в осадок и кристаллизуется, оседая на материале (подложке), опущенном в раствор и стенках сосуда. Благодаря тому, что система изолирована, достигается исключение контакта раствора с воздухом, что препятствует испарению, окислению раствора и образованию ненужных побочных продуктов. Процессы, происходящие при таком способе кристаллизации, аналогичны процессам, происходящим в природе.

Для наращивания кристаллов необходимо водорастворимое вещество и подложка – материал, на котором будут расти кристаллы. В серии опытов, целью которых был поиск подходящего кристаллизующегося вещества, испытывались медный купорос, алюмокалиевые квасцы, красная кровяная соль (ККС) и желтая кровяная соль. Наилучшие результаты показала ККС – гексацианоферрат калия  $K_3[Fe(CN)_6]$ . ККС образует красные вытянутые призматические кристаллы и обеспечивает хорошее прорастание к подложке, лучшую степень ее площадного покрытия и хороший вид готового продукта. В дальнейшем после отладки технологии существует возможность использования и других веществ для наращивания.

При выборе подложки необходимо избегать материалов, которые могут вступить в химическое взаимодействие с раствором ККС, таких как железо. Это может привести к разрушению подложки и загрязнению раствора. В качестве подложки можно использовать такие материалы, как ткань, дерево, пластик, бумага и другие. Выбор материала основан на степени его взаимодействия с образующимися кристаллами. В ходе ряда опытов хорошие результаты показала хлопчатобумажная ткань. Ткань при взаимодействии с кристаллами образует армированные друзы и приобретает жесткость. В дальнейшем эти соединения стабильны на воздухе и не разрушаются со временем при условии отсутствия воздействия на них динамических ударов. Для защиты кристаллов от влияния воздуха, влаги и пыли, они покрываются слоем лака путем распыления.

Для приготовления раствора необходимо растворить ККС в воде. Вода доводится до кипения с добавлением реактива по мере растворения. При повышении температуры раствора, взятое количество воды способно растворить в себе большее количество вещества. При достижении максимальной концентрации ККС при заданной температуре раствор готов к дальнейшему использованию. После приготовления раствор переливается в сосуд, в котором будет происходить кристаллизация. В роли сосуда используется силиконовый пищевой контейнер. Он не взаимодействует с раствором, выдерживает высокие температуры и не способствует прочному прорастанию кристаллов к стенкам. Здесь стоит отметить то, что при переливании раствора в сосуд и при разогреве сосуда и бокса тратится до

40 % тепла. При этом образуются мелкие кристаллы, покрывающие ровным слоем подложку, стенки и дно сосуда. Сосуд герметично закрывается крышкой, к которой прикреплена тканевая подложка, например в форме цветка. После этого он помещается в термоизолирующий бокс, оснащенный датчиком температуры для контроля степени и скорости остывания раствора. В таком состоянии система остаётся до практически полного остывания (до уровня комнатной температуры). Такая технология позволяет замедлить скорость остывания и продлить этот процесс до 2-3 суток. После остывания бокс открывается, подложка с нарощенными кристаллами извлекается, избавляется от излишков раствора, просушивается и покрывается лаком.

Говоря о процессе остывания важно отметить, что степень охлаждения раствора прямо влияет на степень его раскристаллизованности. Иными словами, чем больше раствор охладился, тем больше растворенного вещества раскристаллизуется. На этом принципе и основана данная технология наращивания кристаллов из раствора.

Варьируя начальные условия, при которых протекает кристаллизация, мы можем влиять на процессы, происходящие в термобоксе. Повышая начальную температуру раствора, мы можем увеличить содержание ККС в исходном количестве воды. При остывании раствора это даст нам результат в виде большего количества раскристаллизовавшегося вещества. Стоит отметить, что из-за отсутствия необходимого технического оборудования, позволяющего создать максимальные температуры при подготовке раствора и последующего их плавного понижения при остывании, не удастся достичь максимальной концентрации ККС в исходном растворе. Но для достижения поставленной цели этого не требуется. Меняя размер сосуда, в котором будет происходить кристаллизация раствора, и количество исходного раствора, можно также влиять на количество раскристаллизованного вещества (в отношении количества вещества на единицу площади, процентное соотношение раствора и кристаллов останется прежним). Это может помочь регулировать количество кристаллов на подложке. Регулируя скорость остывания раствора, можно изменять размер кристаллов. При быстром падении температуры большая часть растворенного вещества кристаллизуется с большой скоростью, образуя мелкие кристаллы, которые, как правило, выпадают в осадок. Если же остывание раствора будет происходить достаточно медленно и равномерно, то вещество будет кристаллизоваться с меньшей скоростью, обеспечивая качественный рост кристаллов на стенках сосуда и на подложке.

Исследования данной технологии синтеза кристаллических веществ носит не только декоративно-прикладной характер, позволяющий получать оригинальную сувенирную продукцию, но и дает возможность разобратся в сути аналогичных процессов, протекающих в природе.

## Список литературы

1. Шаскольская М.П. Кристаллы. М.П. Шаскольская. – Изд.: Наука, 1985.
2. Шаскольская М.П. Очерки о свойствах кристаллов. М.П. Шаскольская. – Изд.: Наука, 1987.

УДК 552.1

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОССИЙСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ МАЦЕРАЛОВ С КЛАССИФИКАЦИЕЙ МЕЖДУНАРОДНОГО КОМИТЕТА ПО УГОЛЬНОЙ И ОРГАНИЧЕСКОЙ ПЕТРОЛОГИИ

**С.П. Коновалова, А.С. Мещерякова**  
**Научный руководитель В.А. Федотова**  
*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время существует несколько вариантов классификаций и номенклатур мацералов применительно к различным направлениям углепетрографических исследований. Почти все классификации построены с учетом двух основных признаков: вещественного состава – типа превращения (гелификация, фюзенизация) и структуры микрокомпонентов – однородная, неоднородная (со следами клеточной структуры исходных тканей).

Самая первая номенклатура (Горное Бюро – Тиссен) была разработана в США в 1920 г. на основе исследований Тиссена и Уайта. В 1935 г. была разработана Система классификации Стопс-Геерлен. Активное развитие угольной петрологии началось во второй половине XX в. В 1953 г. был основан Международный Комитет по угольной петрологии, переименованный позже в Международный комитет по угольной и органической петрологии (ИССР). Современная терминология ИССР, принятая в 1994 г., основывается на модифицированной терминологии системы Стопс-Геерлен.

Вопросами угольной петрологии занимались многие российские учёные. В 30-е и последующие годы были предложены вещественно-петрографические и генетические классификации (И.Э. Вальц, А.И. Гинзбург, Н.М. Крылова, С.Н. Наумова, Л.П. Нефедьева, И.Б. Волкова, И.И. Аммосов). На основе данных их исследований в 1960 г. в России были стандартизированы терминология и методика определения микрокомпонентов каменных, а с 1978 г. – бурых углей. С 1994 г. в России действует ГОСТ 9414.1-94 «Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа», в котором даётся классификация мацералов.

Данная работа направлена на выявление основных особенностей российской и международной классификации, а также рассмотрение вопроса их применимости по отношению к рассеянному органическому веществу (РОВ), которое имеет большое значение для нефтяной геологии, а именно – прогноза нефтегазоносности.

Российская классификация (ГОСТ 9414.1-94) имеет следующую структуру: группа мацералов, мацералы, субмацералы. Международная классификация (ICCP): Группа (Maceral Group) – подгруппа (maceral subgroup) – мацерал (maceral) – тип мацерала (maceral type).

В отечественной классификации выделяется четыре группы мацералов, в ICCP – три. В обеих классификациях существуют группы витринита, инертенита и липтинита, но в ГОСТ 9414.1-94 дополнительно присутствует группа семивитринита. Аналогом группы витринита в бурых углях является группа гумита, но в классификации ICCP появилась тенденция совместить эти группы применительно к РОВ.

Группа витринита присутствует в обеих классификациях (табл. 1). «Мацерал» в российской классификации соответствует «подгруппе мацералов» в международной: мацерал телинит – подгруппе теловитринита, мацерал коллинит – подгруппе геловитринита, мацерал витродетринит – подгруппе детровитринита. На уровне субмацерала не удаётся выявить чёткого соответствия между классификациями.

В российской классификации дополнительно выделяется группа семивитринита, включающая семиколлинит и семителинит. Эта группа занимает промежуточное положение между группой витринита и инертенита.

При анализе классификации группы инертенита (табл. 2) различия выявлены на уровне иерархической соподчиненности: в ICCP появляется «подгруппа мацералов», которая подразделяется по степени выраженности растительной структуры на мацералы с растительной структурой; не обнаруживающие растительной структуры и представляющие раздробленные фрагменты и атрит.

Среди мацералов с ярко выраженной растительной структурой выделяется фунгинит, отсутствующий в нашей классификации. Фунгинит (склеротинит) – это мацерал, содержащий скопления гифов и склероций грибов. Практически все образцы склеротинита, описанные для палеозойских углей, были либо фюзенизированными смолами, либо семифюзенитами плохой степени сохранности. Склеротинит присутствует только в палеоген-неогеновых углях, хотя можно предположить, что материал данного происхождения должен присутствовать и в более древних углях. Возможно, в древних углях он входит в состав витринита или семифюзенита. В российской классификации у семифюзенита и фюзенита выделяются соответственно субмацералы – пирозфюзенит и деградозфюзенит.

В группе липтинита различия появляются как на иерархическом уровне, так и в составе мацералов и типов мацералов (табл. 3).

**Таблица 1.** Группа витринита

ICCP	Группа витринита	Maceral subgroup	maceral	Maceral type
		Telovitrinite	Textinite {Texto-Ulminite} Ulminite Collotelinite	Textinite A (Dark) & B (Light) Telinite
Detrovitrinite	Attrinite Densinite	Phlobaphinite Levigelite/Porigelinite		
Gelovitrinite		Gelinite Collodetrinite Corpohuminite Corpogelinite Vitrodetrinite		
ГОСТ 9414.1-94	Группа витринита	мацерал	субмацерал	
		Теленит	Телинит 1 Телинит 2	
		Коллинит	Телоколлинит Гелоколлинит	
	Витродетринит	Десмоколлинит Корпоколлинит		

**Таблица 2.** Группа инертенита

ICCP	Группа инертенита	Maceral subgroup	maceral	Maceral type
		Macerals With Plant Cell Structure	Fusinite Semifusinite Funginite Secretinite Micrinite Macrinite Inertodetrinite	
Macerals Lacking Plant Cell Structures				
Fragmental Inertinite				
ГОСТ 9414.1-94	Группа инертенита		Мацерал	Субмацерал
			Микринит Макринит Семифюзенит Фюзенит Склеротинит Инертодетринит	Пирофюзинит Деградофюзенит

Подгруппа мацерала международной классификации расширена: дополнительно выделены флуоринит и битуминит. Мацералы альгинит и липтодетринит подразделяются на типы мацералов, соответственно, – теплоальгинит и ламальгинит. Особое положение в группе липтинита занимает подгруппа скорее битумов, чем мацералов, в которую входит единственный мацерал – экзудатинит.

**Таблица 3. Группа липтинита**

		Maceral subgroup	maceral	Maceral type
ИССР	Группа липтинита		Sporinite Cutinite Resinite Suberinite Algi- nite Liptodetrinite Fluorinite Bituminite	Telalginite Lamalginite
		Strictly a bitumen rather than a maceral	Exsudatinite	
ГОСТ 9414.1-94	Группа липтинита		Мацерал	Субмацерал
			Споринит Кутинит Резинит Суберинит Альгинит Липтодетринит	

Самым очевидным различием между отечественной и зарубежной классификациями является иерархическая структура. Кроме того, имеются различия в мацеральном составе групп витринита, инертинита, липтинита.

В то же время российская и международная классификации имеют много общего, однако классификация ИССР более детальная и её можно применять не только к высоко организованному концентрированному органическому веществу углей, но и к РОВ нефтематеринских толщ. В настоящее время необходимо пересмотреть российскую классификацию (ГОСТ 9414.1-94) в соответствии с международной (ИССР).

УДК 5.5.3.4.1

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ ВЕРХНЕ-РЫБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНО-РОССЫПНОГО УЗЛА**

**А.Н. Приходько**  
**Научный руководитель В.А. Макаров**  
*Сибирский федеральный университет*

Верхне-Рыбинский золоторудно-россыпной узел находится в верховьях р. Рыбной и ее притоков (рр. Кривляжной и Талой). Выделен в пределах Рыбинской рудной зоны Южно-Енисейского золотоносного района, в зоне

Ишимбинского глубинного разлома, на стыке Ишимбинско-Петропавловского и Раздолинского рудных узлов (рис. 1). В региональном плане Рыбинская рудная зона приурочена к зоне сочленения Ангаро-Питского синклинория и Центрального антиклинория Енисейского кряжа, граница между которыми проходит по Ишимбинскому глубинному разлому.

В пределах узла развиты вулканогенно-терригенные отложения панимбинской толщи нижнего рифея и карбонатно-терригенные отложения нижнего-среднего (сухопитская серия) и верхнего (тунгусикская серия) рифея, метаморфизованные в зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Незначительно развиты рыхлые образования кайнозойской группы, отложения верхнечетвертичного и современного отделов. Интрузивные образования в пределах площади не выявлены.

На территории узла широко развиты зоны жильно-прожилкового окваревания среди отложений протерозоя. Основным жильным минералом, составляющим 85-95 % и более жильного выполнения является кварц. В результате большого объема аналитических работ в кварцевых жилах Верхне-Рыбинского узла установлена золото-сурьмяная, золото-сульфидная и золотая минерализации. Жилы золото-сурьмяной минерализации в подавляющем большинстве случаев залегают среди пород панимбинской толщи.

О перспективах узла на золотое оруденение указывают многие критерии и признаки:

- наличие богатых, в значительной мере отработанных россыпей в междуречье верховьев Удерея и Рыбной, в которых добыто около 15 т золота;

- наличие десятков пунктов минерализаций золота в виде свалов жильного кварца, в отдельных протолочках которого обнаружили знаки Au, арсенопирит, пирит и антимонит, пробирным анализом установлены содержания золота до 0,8 г/т;

- наличие контрастных литогеохимических аномалий золота по вторичным ореолам рассеяния (с содержаниями в эпицентрах 100-1000 мг/т);

- наличие контрастных литогеохимических аномалий свинца, цинка, мышьяка, реже серебра и меди, которые сопровождают литогеохимические аномалии золота;

- приуроченность узла к зоне Пенченгинско-Рыбинского (Ишимбинского) регионального разлома, с которым большинство исследователей усматривают парагенетическую связь золоторудных месторождений кряжа;

- наличие на площади узла терригенно-флишоидных образований сухопитской серии нижнего – среднего рифея (кординская, горбилоская и удерейская свиты) и панимбинской толщи нижнего рифея. В Южно-Енисейской золотоносной провинции панимбинская толща является одним из основных золотовмещающих стратонов, в отложениях которой локали-

зованы месторождения золота Боголюбовское, Попутнинское, золото-сурьмяное Раздолинское месторождение и др. Также широко известны и углеродистые толщи сухопитской серии, как вмещающие золотое оруденение на всех крупных и средних месторождениях Енисейского края (Олимпиада, Благодатное, Эльдорадо, Удерей, Бабушкина Гора);

- наличие двух сочленяющихся зон тектонитов, которые образуют протяженные системы повышенной трещиноватости – зоны проницаемости, перспективные на золотое оруденение, одна вдоль Ишимбинского глубинного разлома, простирается на север, вторая на северо-запад;

- наличие зон жильно-прожилкового окварцевания;

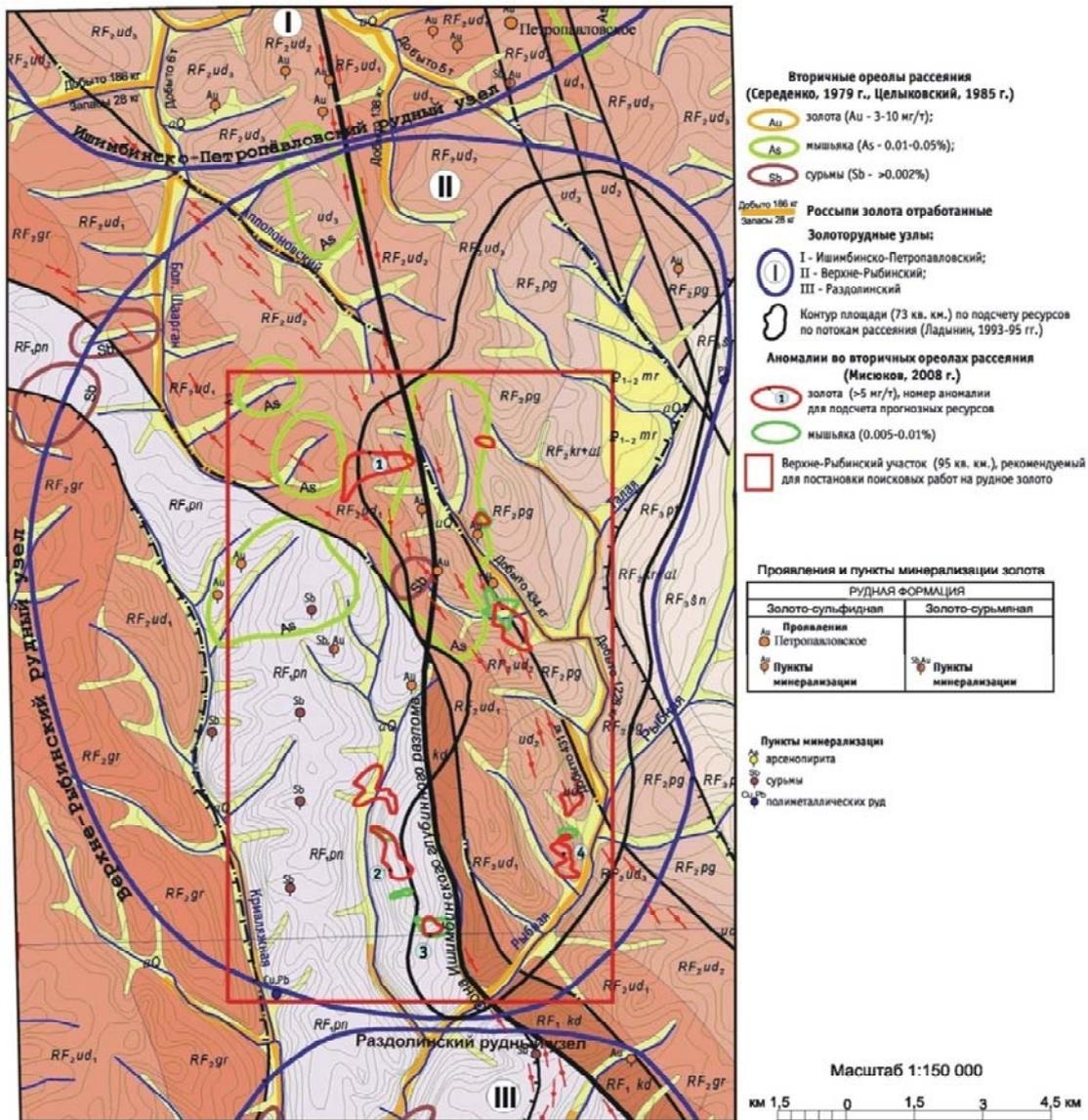
- развитие кварцевых жил с золото-сурьмяной, золото-сульфидной и золотой минерализациями.

Судя по набору критериев и признаков золотого оруденения, на площади Верхне-Рыбинского золоторудно-россыпного узла ожидаются жильково-вкрапленные минерализованные зоны с золото-сульфидным оруденением попутнинского типа и золото-сурьмяным оруденением удерейского типа на участке Тепло (локализуемся в пределах отложений панимбинской толщи), так же возможно обнаружение жильно-прожилковых зон с оруденением золото-сульфидно-кварцевого и золото-кварцевого состава бабгоринского типа на участках Васильевском и Рыбном (локализуемых в пределах отложений сухопитской серии).

В ходе поисковых работ разных лет исполнителями подсчитывались прогнозные ресурсы на Верхне-Рыбинский золоторудно-россыпной узел по категории  $P_2$  и  $P_3$ . Г.А. Середенко (2006 г.) определил прогнозные ресурсы золота по категории  $P_2$  в 51 т на узел.

При создании Госгеолкарты масштаба 1:1 000 000 листа О-46 (Красноярск) (Зуев, 2005) выполнялся автоматизированный прогноз на золото по известным рудным узлам. Из 18 золоторудных узлов в пределах листа О-46 наибольшей продуктивностью (1,96 т/км<sup>2</sup>) был охарактеризован Раздолинский рудный узел, в то время включающий прогнозируемый Верхне-Рыбинский, общие прогнозные ресурсы которого по категории  $P_3$  были определены в 380 т золота. После выделения из состава Раздолинского рудного узла Верхне-Рыбинского по нему был произведен отдельный подсчет прогнозных ресурсов по геохимическим данным (Ладынин, 2001). Таким образом, по потокам рассеяния перспективность Верхне-Рыбинского золотоносного узла оценивается в 100 т. золота по категории  $P_3$ .

Но основную оценку Верхне-Рыбинская площадь получила в процессе литогеохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния, проведенного В.И. Мисюковым (Мисюков, 2008). По результатам детальных поисков выделены четырех наиболее перспективные аномалии золота на трех участках, по которым подсчитаны и приняты ресурсы по категории  $P_3$  в объеме 80 т золота.



### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

аО <sub>2</sub>	Голоцен. Современные аллювиальные отложения поймы. Галечники, пески, валуны, суглинки, илы (1-4 м)
P <sub>1-2</sub> gr	Палеоцен-эоцен. Мурожинская свита. Глины пестроцветные, пески, бокситы (менее 50 м)
RF <sub>3</sub> sn	Шунтарская свита. Сланцы серцитовые, хлоритовые, углеродистые, пестроцветные и темно-серые, линзы кристаллических известняков (650-700 м)
RF <sub>3</sub> pt	Потосуйская свита. Сланцы серцит-хлоритовые, хлоритовые, темно-серые, кристаллические известняки и доломиты (800-950 м)
RF <sub>3</sub> kr+al	Свита картонки и аладыинская объединенные. Сланцы зеленые, серцит-хлоритовые, известковые, кристаллические известняки и доломиты (800-950 м)
RF <sub>3</sub> pg	Погоройская свита. Ритмичное переслаивание сланцев хлорит-серцитовых, металаверолитов, металесчаников (псаммито-алевро-пелитовые ритмы), прослои (0,2-5 м) металесчаников и кварцитов (1000-1200 м)
RF <sub>3</sub> ud <sub>3</sub>	Верхняя подсвита. Сланцы серцитовые углеродистые темно-серые, редкие прослои металаверолитов и металесчаников (600-650 м)
RF <sub>3</sub> ud <sub>2</sub>	Средняя подсвита. Сланцы хлорит-серцитовые зеленые, зелено-серые, прослоями карбонатсодержащие, иногда магнетитсодержащие (550-600 м)
RF <sub>3</sub> ud <sub>1</sub>	Нижняя подсвита. Сланцы серцит-углеродистые темно-серые в тонком переслаивании с металаверолитами и металесчаниками (пелито-алеврито-псаммитовые ритмы) (450-500 м)
RF <sub>3</sub> gr	Горбиловская свита. Сланцы серцит-хлорит-кварцевые алевролитовые серо-зеленые тонкослоистые, иногда магнетитсодержащие (600-700 м)
RF <sub>3</sub> kd	Кординовская свита. Сланцы биотит-серцит-кварцевые углеродистые, алевролиты темно-серые, иногда известковистые, металесчанники, метараверолиты аркозовые, и кварцевые (900-1100 м)

RF <sub>3</sub> pn	Панибинская свита. Сланцы кварц-серцит-хлоритовые углеродистые, металаверолиты, мраморы, метауфы и металавы базальтов, коматитов (более 1000 м)
	Тектониты. Зоны дробления, вторичного расщепления, развития мylonитов, бластомилонитов и мелкой складчатости, перспективные на золотое оруденение
q	Жильно-прожилковое кварцевание (q)
	Геологические границы
<b>Разрывные нарушения</b>	
а)	Взбросы и сбросы (а), скрытые под четвертичными образованиями (б)
б)	Надвиги (а), скрытые под четвертичными образованиями (б)

Рис. 1. Карта золотонности прогнозируемого Верхне-Рыбинского рудно-россыпного узла в Южно-Енисейском рудном районе

## **ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КВАРЦА ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОСТОЧНОГО СКЛОНА ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА**

**В.Г. Фисенко**

**Научный руководитель В.А. Макаров**

*Сибирский федеральный университет*

Перспективы Восточного склона Енисейского кряжа на обнаружении промышленно значимых золоторудных объектов в настоящее время оцениваются неоднозначно. По результатам множества обобщающих металлогенических исследований практически все золотое оруденение контролируется долгоживущими системами Ишимбинского, Татарского, Усть-Ангарского и Приенисейского разломов, расположенных в центральной части кряжа. К этим же структурам в свою очередь тяготеет рифейский гранитоидный магматизм, ответственный за процессы тепло-массопереноса при метасоматозе и формировании оруденения. Отсутствие гранитных интрузий в пределах Восточного склона этой региональной структуры, рядом исследователей рассматривается в качестве неблагоприятного для формирования оруденения фактора и является причиной слабых оценок золоторудного потенциала этой территории. Вместе с тем выявленные в результате геолого-поисковых работ прямые признаки золоторудной минерализации (россыпи и рудопроявления золота, литогеохимические аномалии золота и его элементов спутников) свидетельствуют о необходимости более тщательного изучения этой части региона. Одной из ключевых задач является установление физико-химических условий формирования золоторудной минерализации и установление ее взаимосвязи с рудогенерирующими процессами в центральной части Енисейского кряжа. Для выяснения обстановок протекания рудогенерирующих процессов автором проведены термобарогеохимические исследования индивидуальных флюидных включений, а также изучение состава газов валовых проб методом газовой хроматографии. Материалом для проведенных исследований послужили образцы кварца с трех участков с установленной золоторудной минерализацией (уч. Марокский, Иочиминский и рудопроявление Борковское), что дает возможность проследить эволюцию состава и изменение физико-химических параметров рудоносных растворов по мере удаленности оруденения от рудоконтролирующих структур центральной части Енисейского кряжа.

Участок Марокский входит в число объектов Нижне-Чиримбинского золоторудно-россыпного узла. Среди анализируемых участков он наиболее

близко расположен к гранитным интрузиям, расстояние до которых не превышает 12-13 км. В геологическом строении участка принимают участие отложения кординской горбилкокской и удерейской свит. Породы кординской свиты распространены преимущественно в западной части участка и представлены метапесчаниками и сланцами кварц-карбонат-альбит-биотитового и кварц-мусковит-биотитового, кварц-альбит-серицит-биотитового состава. Отложения горбилкокской и удерейской свит слагают восточную часть участка и представлены сланцами кварц-серицит-хлоритового, кварц-серицит-биотит-хлоритового состава. Золотоносные зоны представляют собой окварцованные сульфидизированные, метасоматически измененные сланцы с прослоями метапесчаников, насыщенные в разной степени маломощными (0,1-0,5 см) прожилками и единичными линзами кварца мощностью до 0,1 м. В этих зонах выделяются отдельные интервалы мощностью от 1-3 до 15-25 м с промышленными содержаниями золота от 0,5 до 23,89 г/т, и в отдельных случаях до 240 г/т. Кварц в составе прожилков образует мелко-, средне- и крупнокристаллические полупрозрачные агрегаты, серого и буровато-серого цвета за счет включений мелких гнезд и пленок лимонита, пирита и арсенопирита.

В результате изучения флюидных включений в кварцево-жильных образованиях участка были выявлены первичные и первично-вторичные группы включений. По химическому составу они подразделяются на водно-солевые, водно-углекислотные и углекислотные. Водно-солевые первичные и первично-вторичные включения, как правило, имеют в составе две фазы ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$ ) преимущественно с преобладанием жидкости над газом. Криометрическими исследованиями установлено, что оттаивание жидкой фазы этих включений происходит в диапазоне температур от  $-7,8$  до  $+24,5$  °С. Подобные вариации свидетельствуют об изменении степени солености в процессе эволюции минерализованных растворов. В соответствии с фазовой диаграммой системы  $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ , показатель солености слабосоленых включений в основном колеблется в интервале от 0,2 до 11,5 мас. %,  $\text{NaCl}$ -экв, достигая у более соленых включений 26,5 мас. %,  $\text{NaCl}$ -экв. В составе флюида, вероятно, преобладает хлорит натрия, поскольку мелкий размер включений не позволил надежно диагностировать наступление эвтектики, и тем самым более достоверно определить состав раствора. Гомогенизация слабосоленых включений по данным термометрии происходит в широком интервале температур и варьирует в пределах 150-430 °С. У более соленых включений интервал температур существенно ниже и не превышает 120-150 °С. Для водно-углекислотных включений участка характерен двухфазный ( $\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}+\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) и реже трехфазный ( $\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}+\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$ ) состав с температурой плавления  $-56,6\div-58,4$  °С, что указывает незначительное количество либо на полное отсутствие азота и метана. В составе однофазных углекислотных включений ( $\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}$ ) жид-

кая  $\text{CO}_2$ , вероятно, также является главным компонентом, поскольку температура плавления этих включений также близка к температуре плавления чистой  $\text{CO}_2$  и варьирует в интервале  $56,6 \div -57,5$  °С. Частичная гомогенизация водно-углекислотных и углекислотных включений проходила в жидкую фазу в температурном интервале от  $-23,9$  до  $+28,2$  °С, что является показателем изменения плотности углекислоты в составе раствора, которая по сопоставлению с экспериментальными данными соответствовала  $0,65-1,05$  г/см<sup>3</sup>. Вариации плотности  $\text{CO}_2$ , очевидно, – результат изменения давления в процессе эволюции рудоносного раствора, которое согласно проведенным расчетам могло колебаться в диапазоне –  $0,6-3,8$  кБар. Результаты газовой хроматографии в целом подтверждают данные полученные при анализе индивидуальных включений. Суммарная флюидонасыщенность рудоносных растворов колеблется в интервале от  $772-1377,4$  мг/кг. Основными компонентами растворов выступают вода, углекислота, азот и в меньшей степени метан и углеводороды. Количество  $\text{CO}_2$  в составе включений изменчиво, что, вероятно, связано с разделением раствора на обедненную и обогащенную углекислотой фазы. В обедненной углекислотой фазе раствора доля  $\text{CO}_2$ , как правило, не превышает  $4,0$  % от суммы всех газов при соотношении  $\text{CO}_2$  к сумме  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  –  $0,01-0,04$  и коэффициенте восстановленности ( $K_{\text{восст}}$ ) –  $0,004-0,01$ . У обогащенных углекислотой фаз раствора соотношение  $\text{CO}_2$  к сумме  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  немного выше ( $0,12-0,19$ ), как и коэффициент восстановленности ( $K_{\text{восст}} = 0,004-0,01$ ), при доле  $\text{CO}_2$ , достигающей  $18,88$  %.

Рудопроявление Борковское (Вангашская поисковая площадь) локализовано в интенсивно трещиноватых и смятых в многочисленные микроскладки породах серицит-хлорит-кварцевого состава удерейской свиты на существенном удалении ( $18-20$  км) гранитных от интрузий Татарско-Аяхтинского комплекса. Оруденение тяготеет к зонам интенсивного рассланцевания СЗ простирания с мелкими разноориентированными прожилками кварца, пронизанными гидроокислами железа и тонкой рассеянной вкрапленностью арсенопирита. Мощность прожилков при общей насыщенности кварцем  $1-20$  % от объема породы, в целом варьирует в пределах  $0,1$  мм –  $1-5$  см, редко достигая  $0,1-0,5$  м. Содержание золота в пределах зоны колеблется от  $0,1$  до  $1,7$  г/т, достигая в одной пробе  $10$  г/т. Многочисленные мелкозернистые полупрозрачные серые и непрозрачные серовато-белые кварцевые образования, как правило, имеют секущее положение, как по отношению друг к другу, так и к вмещающим породам.

Изучение флюидных включений в кварцевых образованиях показало схожесть состава рудогенерирующих растворов рудопроявления и раствора участка Марокский. Среди первичных и первично-вторичных включений отмечены двухфазные ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$ ) водно-солевые, однофазные ( $\text{Ж}_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2}$ ) и двухжидкие ( $\text{Ж}_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2} + \text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) включения. Температура от-

таивания жидкой фазы водно-солевых включений в основном варьируется в диапазоне от  $-14,1$  до  $+10,8$  °С, что соответствует степени солёности  $0,9-26,3$  мас. %, NaCl-экв. Гомогенизация слабо- и среднесолевых включений проходила в жидкую фазу при температурах  $150-405$  °С. Более солёные включения (солёностью  $\leq 26,3$  мас. %, NaCl-экв), как и на участке Марокском, гомогенизировались при более низких температурах в интервале  $160-190$  °С. Двужидкие водно-углекислотные и однофазные углекислотные включения получили меньшее распространение по сравнению с водно-солевыми. Для них характерно отсутствие газовой фазы при комнатной температуре и плавление углекислоты при  $-56,6 \div -58,8$  °С, что свидетельствует о схожести их состава с аналогичными включениями участка Марокский и незначительное присутствие метана в составе включений. Плотность углекислоты в составе растворов изменяется менее значительно, чем на участке Марокский и приблизительно составляет  $0,86-1,06$  г/см<sup>3</sup>, что соответствует давлению –  $1,5-3,4$  кБар. Согласно данным газовой хроматографии во всех исследованных образцах кварца отмечается сходный количественный и качественный состав флюидных компонентов. Суммарная флюидонасыщенность кварца большинства исследованных проб изменяется незначительно и варьирует в пределах  $1044-1200$  мг/кг. Основными компонентами рудоносных растворов являются вода, углекислота, азот, метан и в гораздо меньшей степени углеводороды. Следует отметить, что доля метана, в результате валового анализа оказалась заметно выше чем то, что было установлено при анализе индивидуальных включений, что может быть связано, как с недостаточной представительностью исследуемых препаратов при оптических наблюдениях, так и с недостаточной очисткой пробы от органического материала при производстве хроматографического анализа. Количество углекислоты в составе раствора, как и других компонентов, изменяется незначительно и варьирует в диапазоне от  $5,00$  до  $7,66$  %, от суммы всех газов. Согласно проведенным расчетам коэффициент восстановленности ( $K_{\text{восст}}$ ) рудоносных растворов также изменяется незначительно и приблизительно составляет  $0,02-0,03$  при соотношении  $\text{CO}_2$  к сумме  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  –  $0,05-0,08$ .

Выявленное в пределах участка Иочиминский золотое оруденение, отдаленное от выходящих на поверхность гранитных комплексов на расстояние более  $35$  км, является одним из самых восточных отголосков рудных процессов на Енисейском кряже. Рудная минерализация тяготеет к маломощным ( $10-12$  м) зонам рассланцевания, дробления и тонкого нитевидного кварц-карбонатного прожилкования в светло-серых серицит-кварцевых сланцах средней пачки удерейской свиты. Содержание золота в пределах этих зон колеблется от  $0,2$  до  $0,7$  г/т. Внутри этих зон на интервалах где отмечается наличие тонких серых, буровато-серых и серовато-

белых кварц-лимонитовых прожилков, мощность которых не превышает 0,2-0,4 м, содержание золота достигает 1,1-5,6 г/т.

В составе первичных и первично-вторичных флюидных включений участка двухфазные водно-солевые включения (рис. 1а) занимают доминирующее положение. Показатель солёности этих включений согласно фазовой диаграмме системы NaCl – H<sub>2</sub>O находится в интервале 0,2-26,2 мас. %, NaCl-экв. Температура общей гомогенизации по данным термометрии заметно ниже, чем на рудопроявлении Борковское и на участке Марокском и варьирует в интервале 120-320 °С у слабосоленых включений (солёностью 0,2-13,8 мас. %, NaCl-экв) и 100-230 °С у более солёных (солёностью ≤26,2 мас. %, NaCl-экв). Водно-углекислотные включения (рис. 1б) встречаются эпизодически и характеризуются двухфазным (Ж<sub>CO<sub>2</sub>±CH<sub>4</sub>±N<sub>2</sub></sub>+Ж<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) и реже трехфазным (Ж<sub>CO<sub>2</sub>±CH<sub>4</sub>±N<sub>2</sub></sub>+Ж<sub>H<sub>2</sub>O</sub>+Г) составом с температурой плавления - 56,6÷-57,2 °С. В составе однофазных углекислотных включений (Ж<sub>CO<sub>2</sub>±CH<sub>4</sub>±N<sub>2</sub></sub>) жидкая CO<sub>2</sub>, вероятно, также доминирует, и часто единственным компонентом, поскольку температура плавления этих включений близка к температуре плавления чистой CO<sub>2</sub> и варьирует в интервале 56,6÷-57,3 °С. Плотность углекислоты в составе растворов, согласно замерам частичной гомогенизации, варьируется достаточно существенно (0,47-1,00г/см<sup>3</sup>), что говорит об изменении величины давления раствора по мере его эволюции, в целом не превышающем 0,2-2,2 кБар.

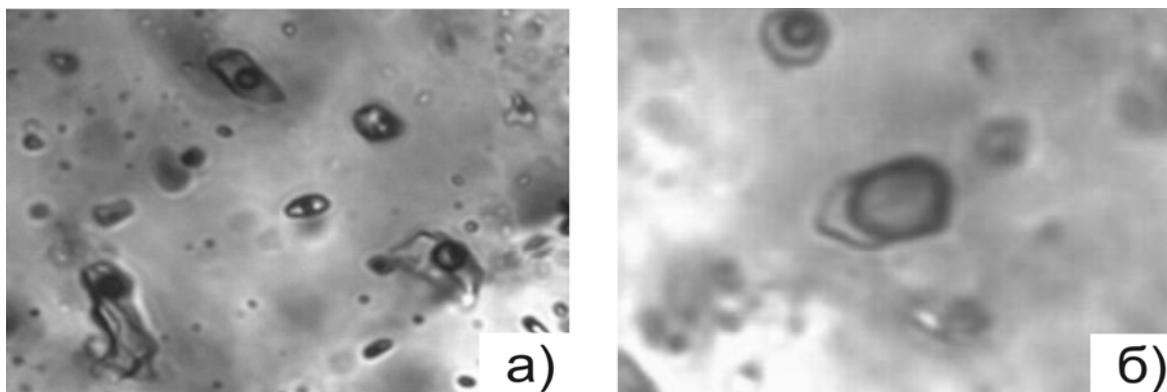


Рис. 1. Первичные флюидные включения в кварце:  
а) двухфазные водно-солевые (Ж<sub>H<sub>2</sub>O</sub>+Г); б) двухжидкие (Ж<sub>CO<sub>2</sub>±CH<sub>4</sub>±N<sub>2</sub></sub>+Ж<sub>H<sub>2</sub>O</sub>)

По результатам хроматографического анализа, основными компонентами рудоносных растворов являются вода и углекислота при незначительном количестве азота, метана и углеводородов. Кварц участка Иочинский характеризуется повышенной флюидонасыщенностью по сравнению с образцами с участка Марокский и рудопроявления Борковское (1221-2036 мг/кг), а рудоносные растворы пониженной восстановленностью ( $K_{\text{восст}}=0,001-0,01$ ), что связано с увеличением количества H<sub>2</sub>O и

уменьшением доли  $\text{CO}_2$  (0,82-6,40 %) в составе раствора при соотношении  $\text{CO}_2$  к сумме  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  – 0,01-0,06.

Таким образом, в результате изучения флюидных включений автором установлено, что по мере удаления от интрузивных комплексов гранитного состава происходило уменьшение температуры и давления рудоносных растворов, сопровождающееся уменьшением количества углекислоты, наличие которой, как правило, играет существенную роль в локализации золотого оруденения. Вместе с тем установленные термодинамические параметры рудоносных растворов в сочетании с насыщенностью флюидов солями, присутствием углекислоты в составе включений могут рассматриваться в качестве одного из благоприятных критериев на возможность обнаружения золоторудной минерализации на значительном удалении от общепринятых рудоконтролирующих структур центральной части Енисейского кряжа.

# ИНФОРМАТИКА: ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ

УДК 004.414.2

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗДАНИЯ

**А.В. Козлов**

**Научный руководитель Б.И. Борде**  
*Сибирский федеральный университет*

Профессиональный мониторинг зданий и сооружений необходим, так как визуальное удовлетворительное состояние объекта часто не соответствует действительности. Мониторингом зданий называется постоянный контроль изменений технических характеристик объекта. Ставшие частыми случаи катастроф и разрушений жилых зданий заставляют обратить особое внимание на контроль состояния и грамотный мониторинг зданий. С целью отследить образование отклонений несущих конструкций сооружения от вертикали проводят специальные геодезические работы. Детальное обследование зданий и сооружений позволяет выявить факторы, влияющие на саму конструкцию, которые могут быть не очевидными. Это особенно важно, если воздействие является постоянным и может повлечь за собой приведение конструкции сооружения до аварийного состояния, что сделает объект непригодным для использования. Мониторинг зданий и сооружений эффективен только тогда, когда система создается совместно с проектировщиками и архитекторами, а также учитывает состояние всех основных элементов конструкции.

Современные тенденции в строительстве, а именно – увеличение этажности зданий, уплотнение городской застройки, стесненность строительных площадок, освоение подземного пространства, насыщение инженерными коммуникациями неизменно приводят к возникновению и последующему увеличению негативного техногенного воздействия проводимого строительства на уже построенные объекты, расположенные в прилегающих зонах.

Аварии на внутренних сетях, коррозия металла конструкции, перегрузки вследствие неправильной (или не профильной) эксплуатации, изменение свойств грунта, которое влечет за собой осадку сооружения – все эти дефекты нуждаются в постоянном специализированном обследовании. Результаты наблюдений должны быть внесены в акт технического обследования на момент строительных работ. Исходящие из них расчеты будут оптимальными для усиления конструкций или восстановления после серьезной аварии.

Сегодня один из основных вопросов – какие напряжения испытывает строительная конструкция в контролируемой области – решается с помощью различных моделей в сочетании с данными традиционных датчиков, парк которых достаточно ограничен. Волоконно-оптические датчики позволили расширить рамки контроля напряженно-деформированного состояния в системе технического мониторинга строительного сооружения. Одни из наиболее перспективных типов волоконно-оптических датчиков, применимых в строительстве, в качестве параметра, регистрируемого преобразователем, используют интенсивность световой волны [4, 5]. Степень изменения интенсивности световой волны в результате воздействия внешней среды на преобразователь позволяет однозначно определять величину этого воздействия. Причем механизм изменения оптической интенсивности может иметь различные причины – отражение, поглощение, микроизгибы и т.д. [1][2][3]

Преимуществами волоконно-оптических датчиков являются:

- защищенность от воздействия электромагнитных полей;
- высокая чувствительность;
- надежность, воспроизводимость и широкий динамический диапазон измерений;
- малые габариты и вес;
- высокая коррозионная и радиационная стойкость;
- электроизоляционная прочность;
- пожаробезопасность;
- возможность спектрального и пространственного мультиплексирования чувствительных элементов;
- расположенных в одном или в нескольких волоконных световодах;
- значительное расстояние до места проведения измерений;
- малое время отклика;
- высокая защищенность информации от несанкционированного доступа;
- малые габариты и вес конструктивных элементов.

Волоконно-оптические датчики температуры, давления, вибрации и деформации объектов, в течение последних нескольких лет ак-

тивно разрабатываются во всем мире. Об этом свидетельствуют многочисленные публикации в указанном направлении, анализ которых позволяет сделать однозначный вывод о важности и перспективности описываемых волоконно-оптических систем для практических приложений. Во многих случаях (особенно если речь идет о распределенных измерениях в условиях повышенной взрыво- и пожароопасности, об удаленной регистрации стационарных и динамических процессов) авторы опубликованных работ отмечают полное отсутствие альтернативных способов измерения.

Известно, что в ЕЭС и США успешно реализован целый ряд пилотных проектов по внедрению и эксплуатации волоконно-оптических систем для контроля состояния автомобильных и железнодорожных мостов, линий электропередач, для измерения распределения механических нагрузок в конструктивных материалах лопастей вертолетов и крыльев самолетов.

Одним из новых и наиболее перспективных вариантов волоконно-оптических датчиков (ВОД) температуры давления, вибрации и механических деформаций являются датчики с использованием волоконных брэгговских решеток ([http://www.forc-photronics.ru/ru/sensor\\_systems/fiber\\_sensors/FBG\\_gratings/](http://www.forc-photronics.ru/ru/sensor_systems/fiber_sensors/FBG_gratings/) показателя преломления в качестве чувствительного элемента. Волоконная решетка представляет собой отрезок волоконного световода (ВС), в структуре которого наведен дополнительный показатель преломления с определенным пространственным распределением. Волоконная брэгговская решетка обеспечивает узкополосное отражение, спектральное положение которого зависит от внешних воздействий. Это свойство брэгговских решеток дает возможность применять спектральные методы измерения физических величин (давление, температура, сдвиг, перемещение, вибрация и т.д.), позволяющие исключить влияние паразитных изменений амплитуды сигнала на точность проводимых измерений. Это является существенным преимуществом таких систем перед системами, использующими волоконно-оптические датчики амплитудного типа.

Точность волоконно-оптических датчиков, основанных на применении волоконных брэгговских решеток при измерении температуры достигает  $0,1^{\circ}\text{C}$ , а при измерении относительной деформации –  $10^{-6}$ . В настоящее время разработаны конструктивные решения, позволяющие обеспечить сочетание чувствительности и динамического диапазона измерений, требуемое для конкретных приложений. Волоконно-оптические датчики с серией брэгговских решеток, записанных в одном волоконном световоде и имеющих смещенные относительно друг друга резонансные длины волн, в настоящее время успешно применяются целым рядом западных фирм для квазираспределенного измерения механических нагрузок. Внедряемые волоконно-оптические датчики способны обеспечивать в масштабе реального времени контроль следующих параметров:

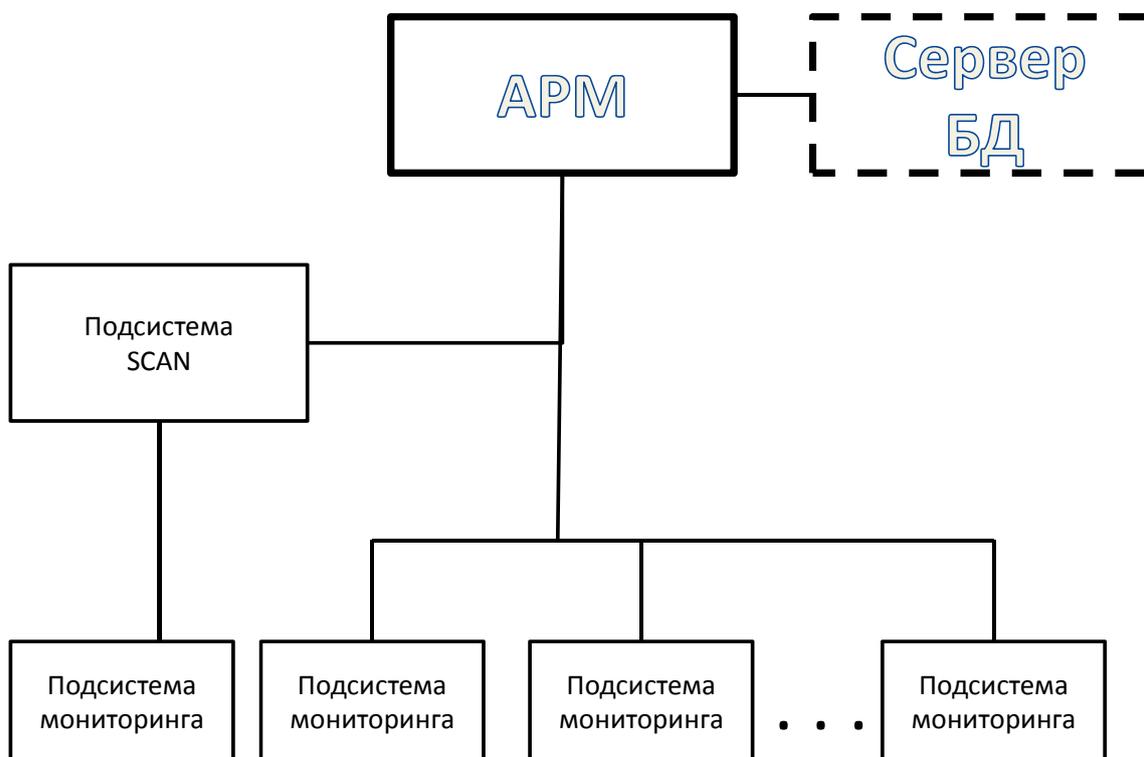
- **механических деформаций элементов конструкций с точностью до сотых долей миллиметра, вызванных:**
  - нарушением геометрических характеристик конструкций (деформацией, разрушением);
  - изменением внешних условий (погодные, геологические, сейсмические факторы);
  - изменением режимов работы (температуры, внутреннего давления и т.п.);
- **температурного распределения, характеризующего объект с точки зрения:**
  - технологической безопасности (локальный перегрев);
  - пожарной безопасности (превышение допустимой температуры);
  - наличия недопустимых внешних воздействий (лесные пожары, техногенные катастрофы и т.п.);
- **анализ акустического сигнала, регистрируемого высокочувствительным распределенным волоконным микрофонным датчиком, предоставляющий информацию о типах процессов, происходящих в контролируемой зоне по их характерным «звуковым отпечаткам» – спектрам звукового сигнала, следующих типов:**
  - механические воздействия – сверление, мех. обработка, вибрация;
  - звуковые воздействия, ударные волны и т.п.;
  - утечки газов и жидкостей из пробоин и трещин;
  - нормальный режим работы агрегатов;
- **контроль периметра вокруг защищаемого объекта скрытым распределенным волоконным датчиком, обеспечивающий:**
  - обнаружение факта нарушения защищаемого периметра;
  - идентификацию нарушителя (вероятностную и сравнительную);
  - характер деятельности, производимой нарушителем в защищаемой зоне;
  - локализацию местонахождения нарушителя в защищаемой зоне с точностью до нескольких метров (зависит от размера охраняемой зоны).

АРМ (автоматизированное рабочее место) – рабочее место оператора, диспетчера и др., оснащенное средствами вычислительной техники с установленным специализированным программным обеспечением для автоматизации процессов переработки и отображения информации, необходимой для выполнения задания.

Управление измерительными устройствами будет осуществляться через программу, разработанную в среде C++, с использованием драйвера NI-DAQmx.

Каждая подсистема на выходе будет передавать сигнал о нарушении или неисправности, что в дальнейшем будет записываться в базу данных.

Дальше оператор АРМ будет принимать решения исходя из полученных результатов.



Дополнительно к структуре добавлена система Scan, которая обеспечивает контроль деформации фундамента здания. В данную систему входят такие компоненты:

- датчики деформаций на решетках Брэгга (тензомер MuST);
- прибор сбора информации с датчиков.

### **Волоконно-оптический (решетки Брэгга) датчик деформации MuST**

Датчики деформаций на решетках Брэгга (FBG) преобразуют деформацию в изменение сигнала (отраженного от деформированной решетки Брэгга).

Техническое описание датчика. Датчик состоит из активной и пассивной частей. Активная часть включает измерительное волокно и измеряет деформацию между двумя его концами, преобразовывая ее в изменение длины волны сигнала, проходящего через волоконную решетку Брэгга. Пассивная часть невосприимчива к деформациям и используется для подсоединения датчика к считывающему устройству. В пассивной части датчика можно установить несжатую волоконную решетку Брэгга для измерения и компенсации температуры. Датчики возможны в одностороннем, двустороннем и цепном исполнении. Возможно соединить до 6 полноцен-

ных датчиков. Датчики имеют на концах разъемы E2000-APC или другие – по требованию пользователя. Датчики можно легко установить, не нарушая порядок работы конструкции. Их можно легко погрузить в бетон и строительные растворы или установить на поверхность.

#### Технические характеристики

Длина активной части	от 0.20 до 2 м
Длина пассивной части	от 1 до 200 м (большие длины доступны по запросу)
Преднатяжение изм. волокна	0,5 % длины активной зоны
Диапазон измерений	Деформации: 0,5 % на сжатие, 0,75 % на растяжение от –2500 мк до +3000 мк (для соединения в цепь) Температура: от –40 °С до +80 °С
Диапазон измерения температуры	от –40 °С до +80 °С
Рабочая температура	Пассивная часть: от –40 °С до +80 °С Активная часть (стандарт.): от –50 °С до +110 °С Активная часть (по спец. запросу): от –50 °С до +170 °С
Водонепроницаемость	5 бар (15 бар с доп. защитой)

Прибор сбора информации с датчиков SmartScan Interrogator. Предназначен для снятия показаний с датчиков, установленных в фундаменте здания.

#### Технические характеристики

Диапазон длин волн	40 nm (1528 – 1568 nm)
Длина пассивной части	от 1 до 200 м (большие длины доступны по запросу)
Количество каналов	4
Максимальное количество каналов	16
Частота сканирования (всех датчиков одновременно)	2.5 kHz
Частота сканирования (за каждый датчик в свою очередь)	25 kHz
Размеры	140x115x85 mm

Система Scan позволит контролировать нагрузку на конструкцию фундамента здания. Происходит растяжение активной части кабеля, измеряя деформацию между двумя краями, преобразует ее в изменение длины волны сигнала, проходящего через решетку Брэгга. Далее по пассивной

части информация передается на считывающее устройство, а затем записывается в базу данных, и оператор АРМ принимает дальнейшее решение.

Мониторинг состояния здания. В настоящее время технологии мониторинга напряженности строительных объектов находятся в стадии разработки, хотя последние внезапные разрушения зданий, как в нашей стране, так и за рубежом вывели эту проблему на одно из первых мест по обеспечению безопасности проживания населения, особенно в крупных городах. Избежать этих проблем поможет проведение мониторинга состояния грунтов, фундаментов, конструкций в процессе строительства и эксплуатации, а также применение систем безопасности. В мире разработано несколько методик, основанных на использовании различных физических эффектов, проявляющихся при изменениях напряженного состояния материалов строительных конструкций, что позволяет фиксировать такие изменения и получать информацию об их интенсивности и длительности. Общая цель мониторинга объектов — проведение системного долговременного контроля постоянных и временных нагрузок, перемещений и деформаций, а также усилий, возникающих в конструкциях. При этом система мониторинга обеспечивает возможность контролировать напряжения и усилия в опасных сечениях с целью установления соответствия фактического напряженно-деформированного состояния конструкций расчетным данным проекта, а также обнаружения критических и предаварийных состояний, контролировать осадку зданий и сооружений. Системы для такого мониторинга должны разрабатываться на стадии проектирования здания и устанавливаться во время строительства для обеспечения наблюдения за состоянием конструкций в постоянном режиме. Для этого вида мониторинга используются комплексные автоматические стационарные системы, разрабатываемые индивидуально для каждого здания. Его проводят для выявления существенных изменений в их напряженно-деформированном состоянии (явного ухудшения технического состояния).

### Список литературы

1. Борде, Б.И. Основы САПР неоднородных вычислительных устройств и систем: учеб. пособие с грифом Минобразования. 2-е изд., перераб. и доп. / Б. И. Борде. Красноярск. — ИПЦ КГТУ. — 2001. — 350 с.

2. Борде, Б.И. Программно-методический комплекс «Основы САПР неоднородных вычислительных устройств и систем» / Б. И. Борде. Красноярск. КГТУ, 2006. — CDROM (языки русский, англ.). Номер гос. регистрации НТЦ ИНФОРМРЕГИСТР 0320702238.

3. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изданий / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002 — 320 с.

4. <http://www.sprut.sitis.ru> «АСМК Спрут»

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ СУДОВЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ**

**А.С. Кострюков, Д.Ю. Коноплев**  
**Научный руководитель А.В. Картушинский**  
*Сибирский федеральный университет*

Мировой океан – важнейший объект для наблюдения и изучения.

Процессы, протекающие в Мировом океане, определяют климатические условия в соответствующих регионах планеты Земля.

В настоящее время находятся в свободном доступе в открытых электронных ресурсах данные гидрологических характеристик, полученные на основе спутниковых и судовых наблюдений.

Перспективным направлением считается поиск связей и калибровка спутниковых данных относительно данных судовых наблюдений.

Для задач дистанционного зондирования необходимо осуществлять калибровку спутниковых данных. Данные судовых и спутниковых наблюдений должны использоваться совместно для удаленной оценки значений гидрологических характеристик. Принимая во внимание современный тренд на использование дистанционных методов наблюдения за поверхностью Земли, данное направление является очень перспективным.

Для анализа данных судовых наблюдений используется программное обеспечение ODV (Ocean Data View). Оно представляет собой программный пакет для исследования, обработки и визуализации океанографических данных. Одним из преимуществ ODV является ее кроссплатформенность.

Информационная технология использования ODV предоставляет следующие возможности:

- отображение данных выбранной станции;
- отображение данных нескольких станций;
- цветное выделение маршрутов экспедиций;
- выделение полей параметров на общей карте;
- отображение изменения гидрологических характеристик во времени;
- анимация.

На выбранном участке карты можно выделять данные по:

- рейсу;
- номерам и типам станции;
- интервалу времени;

- интервалу широт и долгот;
- качеству измерений;
- интервалу глубин, температур и т.д.

В технологии обработки данных судовых наблюдений ODV предоставляет пользователю 5 режимов работы:

- Map – режим карты с возможностью выбора масштаба и проекции (Проекция Меркатора, Полярная проекция, Экваториальная проекция, Проекция Oblique, Проекция Mollweide);

- Station – позволяет построить графики распределения параметров с глубиной для выбранных на карте станций;

- Scatter – построение диаграммы рассеивания всей выборки;

- Section – построение поля распределения величин на выбранном разрезе;

- Surface – построение карт полей океанологических параметров.

Графические результаты работы ODV могут быть экспортированы в формате GIF, PNG, JPG. Разрешение графического файла задается пользователем и не ограничивается количеством пикселей на экране.

ODV используется более чем 19500 учеными в ведущих научно-исследовательских институтах по всему миру.

Мировой океан связан с процессами глобального переноса энергии и вещества, обмена с атмосферой кислородом и углекислым газом. Данные факторы делают задачу изучения Мирового океана очень актуальной. Зная, как ведут себя различные процессы в Мировом океане, например течения, можно спрогнозировать дальнейшие варианты поведения климата на планете.

Температура воды, соленость, скорости течения, концентрация хлорофилла, изменение в пространстве и во времени этих параметров, принадлежит к числу наиболее важных, фундаментальных характеристик океана. Важность регулярных измерений из космоса этих параметров видна хотя бы из того, что эти параметры составляют основу прогностических моделей, применяемых в климатологии и экологии.

На климатические изменения на Земле во многом влияет интенсивность взаимодействия океан-атмосфера-суша. Обмен энергией в системе атмосфера-океан зависит от переноса теплых и холодных водных масс струйными океанскими течениями. При взаимодействии водных масс формируются фронтальные зоны с высокими градиентами температуры. Такие зоны хорошо определяются по температурным градиентам, которые рассчитываются по спутниковым данным (AVHRR MCSST) для периода с 1982 по 2010 г. с различными периодами усреднения. Исходные спутниковые данные являются средненедельными и имеют пространственное разрешение 18 на 18 км.

Обработка данных спутниковых наблюдений особенно по температуре поверхности Мирового океана позволяет выявлять зоны с высокими градиентами температурных полей и соответствующую пространственно-временную изменчивость.

За последние десятилетия приобрела особую актуальность проблема изменчивости крупномасштабных струйных течений в океане.

В настоящее время широко обсуждаются вопросы о глобальном потеплении, остановки теплого течения Гольфстрим. Учеными в последние десятилетия рассматривается так называемая теория конвейерной ленты (Conveyor Belt). Примерная ее схема приведена на рис. 1. Основной движитель конвейера — термохалинный (т. е. «температурно-солёностный») механизм, функционирующий в Мировом океане.

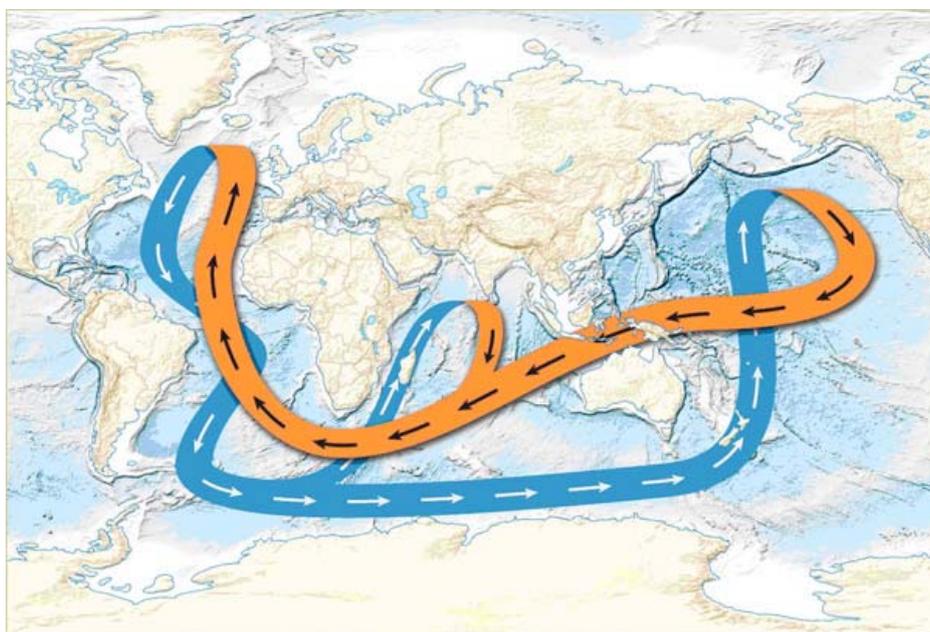


Рис. 1. Схема конвейерной ленты (Conveyor Belt). Оранжевым показаны верхние (идущие ближе к поверхности) теплые ветви течений, синим — нижние (идущие глубоко) холодные ветви течений

Основное внимание в работе уделяется зонам с высокими градиентами гидрологических характеристик в районе функционирования течений:

- Гольфстрим – Лабрадорское (северо-западная часть Атлантического океана);
- Курошио – Ойясио (северо-западная часть Тихого океана);
- Агульяс – Антарктическое циркумполярное течение (Южная Атлантика). Они представляют собой так называемые фронтальные зоны, которые могут служить определенными маркерами при изучении глобального тепло- и массо- переноса. Эти зоны анализируются исходя из проверки

гипотезы о существовании конвейерной ленты глобального переноса водных масс, так как предполагают существенное влияние на общий климат планеты.

Остановка конвейера чревата сильным похолоданием в Европе. Такая возможность в принципе существует, причем инициирует её, как ни странно, потепление. Дело в том, что в случае потепления и вызванного им таяния ледников, прежде всего покрывающих Гренландию, талые воды поступают в океан, где могут вызвать сильное опреснение поверхностного слоя океана. А происходит это как раз там, где пришедшие с юга воды опускаются вниз. Если плотность воды понизится (а это происходит при опреснении), она просто перестаёт «тонуть» и приводит тем самым в движение весь конвейер.

С помощью ПО ODV(Ocean Data View) представляется возможным оценить гидрологические характеристики в точках мирового океана, лежащих «на маршруте» так называемой конвейерной ленты глобальной термохалинной циркуляции.

Таким образом, для обработки данных выделены соответствующие зоны, в которых рассматривается изменение температуры воды, солёности, концентрации кислорода, скорости течения. Пример обработки гидрологических данных представлен на рис. 2, 3, 4, 5, 6.

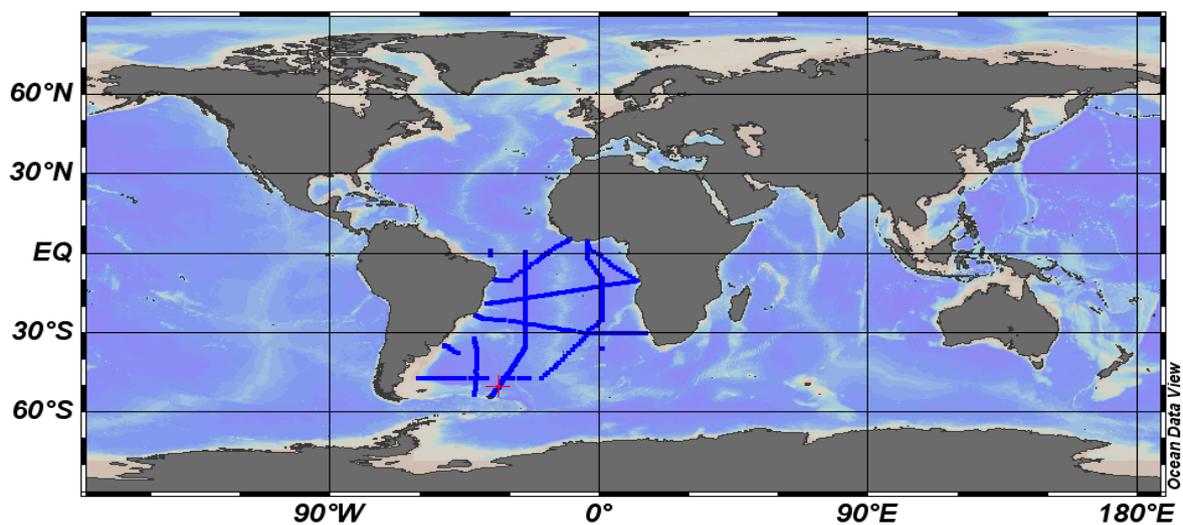


Рис. 2. Маршруты судов

Для демонстрации работы программы выбирается тестовый участок Мирового океана, который находится между двумя материками – Африкой и Южной Америкой.

На данном участке отобрано две станции, первая помечена красным цветом вторая – синим.

Координаты первой станции 17,94 градуса Западной долготы и 15,682 градуса Южной широты.

Координаты второй станции 25,282 градуса Западной долготы и 47,01 градуса Южной широты.

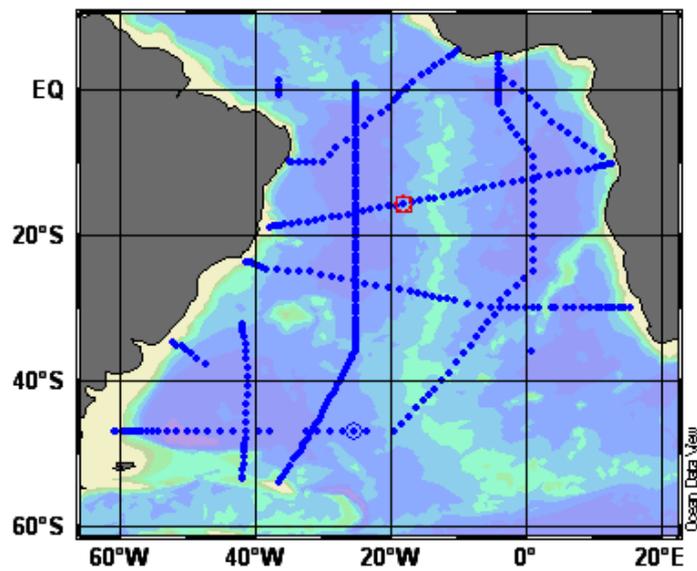


Рис. 3. Маршруты судов (увелич.)

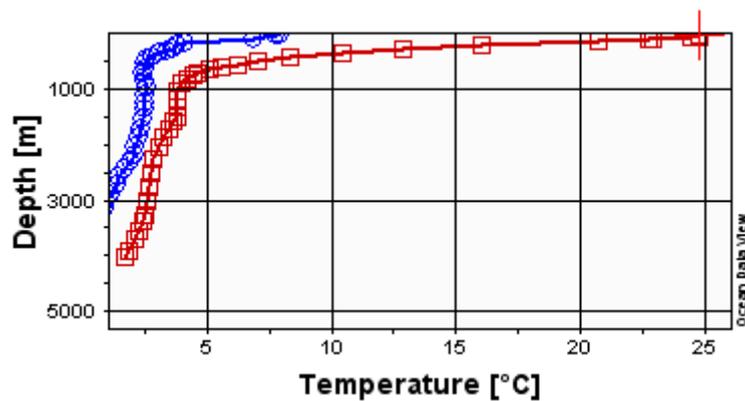


Рис. 4. Распределение температуры воды по глубине для двух выбранных станций

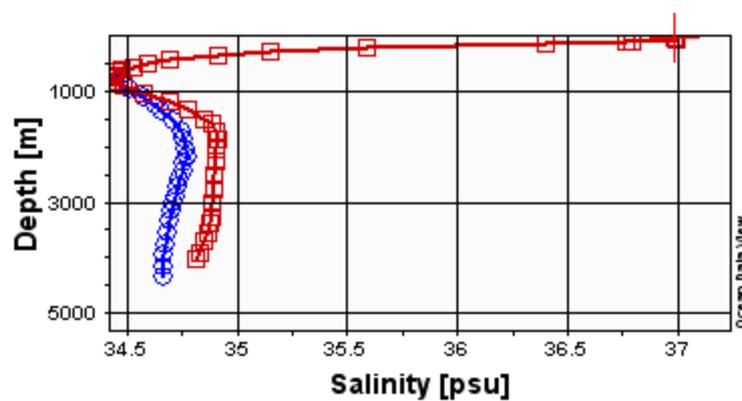


Рис. 5. Распределение солёности воды по глубине для двух выбранных станций

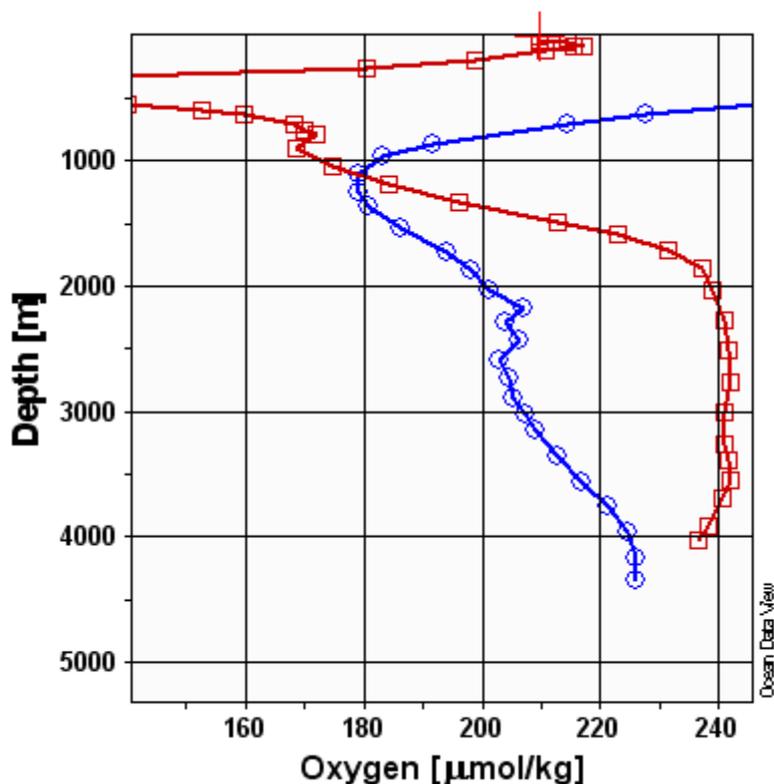


Рис. 6. Распределение кислорода по глубине для двух выбранных станций

Визуализация данных сильно упрощает работу над анализом гидрологических характеристик. На рис. 4, 5, 6 показано распределение температуры, солёности и кислорода по глубине для двух выбранных станций.

Отчетливо видно, что показатели температуры воды на первой станции выше, чем на второй. Это обусловлено тем, что первая станция находится намного ближе к экватору, и вода там нагревается сильнее.

Высокая солёность в поверхностных водах наблюдается на приборах первой станции. Это обусловлено тем, что в данном месте испарение значительно преобладает над осадками.

Распределение кислорода в океане не является равномерным. Доказано существование в Мировом океане зон с пониженным содержанием кислорода. В некоторых регионах океана уменьшается содержание кислорода. На рис. 6 видим, что содержание кислорода на глубине до 1000 м в более холодных водах больше. Это обусловлено тем, что более теплая вода обладает меньшей способностью растворять кислород.

В работе показана применимость информационных технологий для обработки гидрологических характеристик Мирового океана. Следующим этапом станет совмещение данных судовых и спутниковых наблюдений, которое позволит осуществить более полный анализ локальных и глобальных процессов в Мировом океане.

## Список литературы

1. Гиляров А. Меняющиеся представления об устройстве океанического кон-вейера [Электронный ресурс] / А. Гиляров – Режим доступа: <http://elementy.ru/news/431381>
2. Kartushinsky A.V., Time-Space Structure and Variability of Surface Temperature frontal Zones in the Ocean (Based on AVHRR Satellite Data), Advances in Space Research (includes Cospar Information Bulletin), 25 (5), 2000. – pp. 1107-1110.
3. Картушинский А.В. Информационные системы. Динамические процессы в воздухе и воде: учеб. пособие / А.В. Картушинский. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. – 103 с.
4. Kartushinsky A.V. The investigation on the dynamics of frontal zones in the ocean based on the numerical modelling, using the AVHRR satellite data / Advances in Space Research, 33 (7), 2004, pp. 1173-1178.
5. Kartushinsky, A.V. Dynamic Features of Frontal Zones Structure in the Ocean for Using in the Numerical Models Based on Satellite Data / Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics 2011, 4(2), pp. 208–216.
6. Демидов А. Ocean Data View. Русское описание [Электронный ресурс] / А. Демидов – Режим доступа: <http://www.odv.oceanographers.ru/index.html>
7. Ocean Data View. Home Page: сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://odv.awi.de/>
8. Теряет ли океан кислород?: веб-страница [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.oceanographers.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1287&Itemid=135](http://www.oceanographers.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=1287&Itemid=135)

УДК 004.432.4

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА КОРРЕКТНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПОТОКОВЫХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

**М.С. Кропачева**

**Научный руководитель А.И. Легалов**

*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время идёт тенденция развития высокопроизводительных вычислений за счёт распараллеливания работы программ. Однако это приводит к появлению новых ошибок в написанных в традиционном императивном стиле параллельных программах. Напротив, разработка про-

грамм на функционально-поточковых языках параллельного программирования позволяет не только упростить разработку, но и использовать формальные методы для верификации программ.

Под формальной верификацией понимается доказательство корректности программы, которое заключается в установлении соответствия между программой и её спецификацией, описывающей цель разработки [1]. Главным преимуществом формальной верификации является возможность доказать отсутствие ошибок в программе.

Дедуктивный анализ является наиболее универсальным методом формальной верификации. В основе дедуктивного анализа лежит аксиоматический подход, основанный на исчислении Хоара [2]. Исчисление Хоара – это расширение какой-либо формальной теории, введением в неё формул специального вида, которые называются тройками Хоара. Тройка Хоара – это программа, к которой приписаны две формулы формальной теории, описывающие ограничения на входные переменные (предусловие) и требования к результату работы программы (постусловие). В результате доказательство корректности программы сводится к доказательству истинности тройки Хоара для этой программы. Данный подход хорошо проработан и частично автоматизирован для последовательных императивных программ. Однако процесс доказательства сильно усложняется для параллельных императивных программ.

В предложенных А.И. Легаловым модели функционально-поточковых параллельных вычислений и языке программирования Пифагор, реализующем эту модель [3], отсутствуют ошибки, характерные для императивных параллельных программ. Поэтому процесс формальной верификации по сложности сравним с доказательством корректности последовательной программы.

Для функционально-поточкового языка параллельного программирования Пифагор разработана аксиоматическая теория, позволяющая проводить доказательства корректности программ. Для каждой встроенной функции языка задаётся набор аксиом, описывающих работу этой функции, также используются два правила вывода: «правило прямого прослеживания» и «правило преобразования в формулу». «Правило прямого прослеживания» позволяет на основе аксиом для встроенных функций преобразовывать тройки Хоара любой программы на языке Пифагор, так как любая программа в конечном счёте состоит из встроенных функций. Применение правила приводит к «сокращению» («свёртке») программы и связанному с этим изменению пред- и постусловия. После последовательных применений «правила прямого прослеживания» получается тройка Хоара с «пустой программой», которая переводится в формулу с помощью «правила преобразования в формулу». Далее можно доказывать истинность формулы, из которой будет следовать истинность программы.

Однако процесс доказательства функционально-поточковых программ, также как императивных последовательных программ, достаточно трудоёмок, так как требует рассмотрения большого числа вариантов выполнения программы и работы с громоздкими формулами. Поэтому целесообразно автоматизировать данный процесс.

Так как проблема корректности программ алгоритмически неразрешима, нельзя полностью автоматизировать процесс доказательства корректности программы. Этапы определения тройки Хоара для конкретной программы и доказательства условий корректности не могут быть автоматическими, а должны проводиться в диалоговом режиме. Этап генерации условий корректности, напротив, может выполняться автоматически [1].

В общем виде систему, позволяющую автоматизировать доказательство корректности функционально-поточковых параллельных программ на языке Пифагор, можно представить в виде схемы, приведённой на рис. 1.

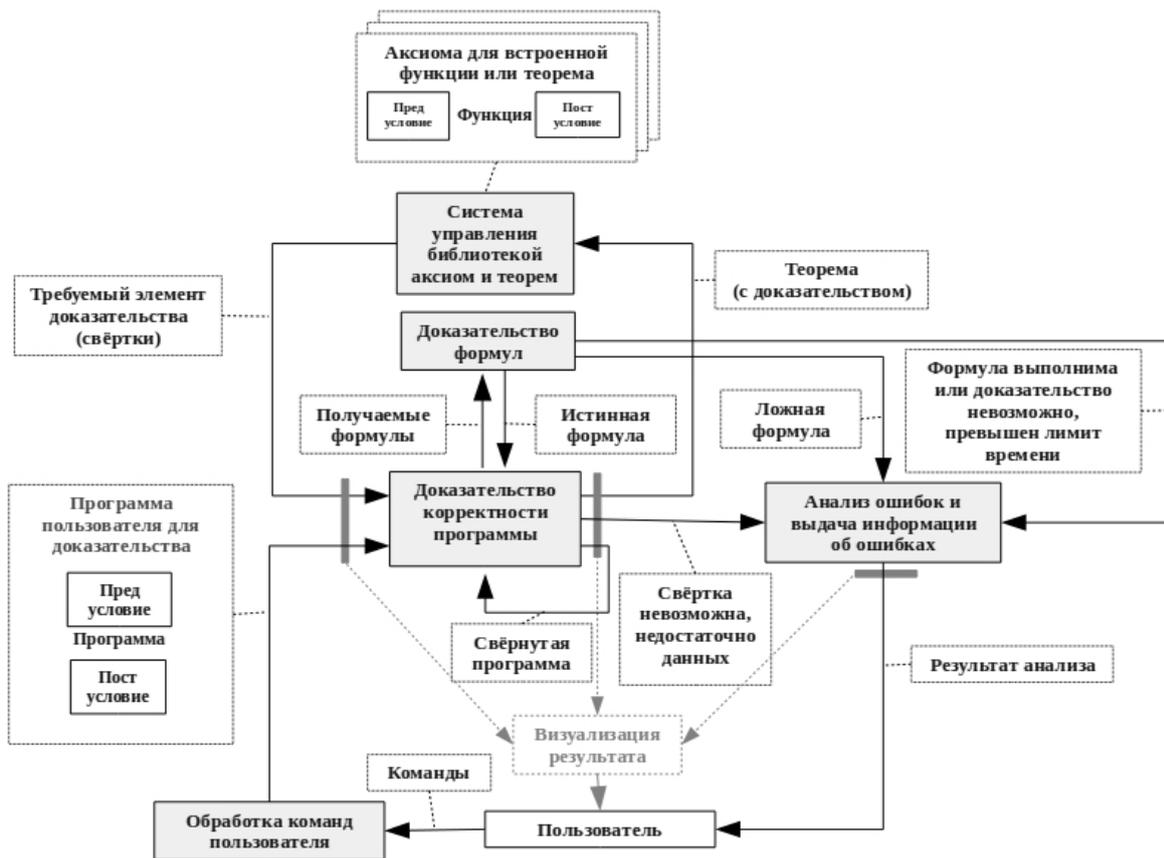


Рис. 1. Общая схема системы автоматизированного доказательства корректности функционально-поточковых параллельных программ

Пользователь передаёт системе программу на языке Пифагор и требования к программе в виде тройки Хоара (например, в текстовом виде). После считывания и перевода во внутренний формат, тройка визуализиру-

ется в виде информационного графа. Пользователь может изменять программу, пред- и постусловие, а также запустить процесс доказательства.

После запуска доказательства начинает работать блок «Доказательства корректности программы».

Основная задача блока – преобразовать («свернуть») программу в формулу, истинность которой будет доказываться с помощью блока «Доказательства формул». Данный блок выполняет преобразования программы последовательным применением «правила прямого прослеживания» и «правила преобразования в формулу», после получения тройки с «пустой программой».

«Системы управления библиотекой аксиом и теорем» хранят аксиомы и теоремы. Аксиомами, как было описано выше, являются тройки Хоара для встроенных функций. Теоремы – это тройки Хоара пользовательских программ, корректность которых была доказана.

Для того чтобы применить «правило прямого прослеживания» блок «Доказательства корректности программы» должен определить, какая функция применяется непосредственно к аргументу, и получить от «Системы управления библиотекой аксиом и теорем» аксиому для этой функции, если она встроенная, или теорему, если она определена пользователем. Если аксиомы или теоремы отсутствуют, то «свёртка» невозможна. Пользователь должен либо предоставить аксиому, либо вначале доказать корректность требуемой функции и получить теорему. Если необходимые аксиомы и теоремы присутствуют в библиотеке аксиом и теорем, «Система управления библиотекой» передаёт их блоку «Доказательства корректности программы».

Из всех полученных аксиом и теорем блок «Доказательства корректности программы» должен выбрать только те, которые описывают реализуемые пути выполнения программы, и исключить заведомо недостижимые. При этом достижимыми будут только те пути выполнения программы, у которых предусловие аксиом может следовать из предусловия программы. Поэтому блок «Доказательства корректности программы» формирует формулы (их количество соответствует числу аксиом для рассматриваемой функции), описывающие истинность условия недостижимости, и передает их блоку «Доказательства формул», который пытается проверить истинность формул и в результате своей работы для каждой формулы сообщает, что она истинна, ложна, выполнима или выдаёт ошибку: «Доказательство невозможно, превышен лимит времени». В последнем случае пользователь должен определить «выполнимость» формулы самостоятельно. После получения информации об истинности формул блок «Доказательства корректности программы» отбрасывает все аксиомы, соответствующие истинным формулам, и применяет «правило прямого прослеживания» на основе оставшихся аксиом. В результате программа «сокращается», а из исходной тройки Хоара получается несколько новых троек, число

которых соответствует числу оставшихся аксиом. Далее процесс применения «правила прямого прослеживания» повторяется для каждой из полученных троек до тех пор, пока не останутся только тройки с «пустой программой».

Процесс последовательных преобразований тройки Хоара при применении «правила прямого прослеживания» отображается на экране пользователя. При необходимости пользователь может переключаться между разными этапами преобразований и тройками Хоара каждого этапа.

Полученные в результате преобразований тройки с «пустой программой», преобразуются в формулы (по «правилу преобразования тройки в формулу») блоком «Доказательства корректности программы» и передаются блоку «Доказательства формул», который для каждой формулы должен сообщить, что она истинна, ложна, выполнима или выдать ошибку: «Доказательство невозможно, превышен лимит времени». В последнем случае пользователь должен сам установить, истинна формула или нет.

Программа будет корректна, если все формулы истинны. В этом случае блок «Доказательства формул» сообщит о том, что все формулы истинны блоку «Доказательства корректности программы», тогда доказанная теорема будет помещена в библиотеку теорем и аксиом «Системой управления библиотекой аксиом и теорем».

Если не все формулы истинны, то сообщение об этом передаётся блоку «Анализа ошибок и выдачи информации об ошибках». Он анализирует полученную информацию. Если была найдена ложная или выполнимая формула, то в программе или спецификации содержится ошибка. Блок анализа ошибок может отобразить пользователю те пути выполнения программы, которым соответствуют ложные или выполнимые формулы. Пользователь может просмотреть последовательность преобразований каждого пути, внести изменения в программу и заново запустить процесс доказательства.

Рассмотренная система автоматизированного доказательства корректности функционально-поточковых параллельных программ позволит упростить и частично автоматизировать процесс доказательства корректности функционально-поточковых параллельных программ.

### **Список литературы**

1. Непомнящий, В.А. Прикладные методы верификации программ [Текст]: науч. изд. / В.А. Непомнящий, О.М. Рякин. – М.: Радио и связь, 1988. – 255 с.
2. Hoare, C.A. R. An axiomatic basis for computer programming / C. A. R. Hoare // Communications of the ACM. – 1969. – Vol. 10. – No 12. – P. 576–585.
3. Легалов, А.И. Функциональный язык для создания архитектурно-независимых параллельных программ / А.И. Легалов // Вычислительные технологии. – 2005. – № 1 (10). – С. 71-89.

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ГИДРО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАССЕЙНОВ ЧЕРНОГО И СРЕДИЗЕМНОГО МОРЕЙ**

**А.А. Ромашова**

**Научный руководитель А.В. Картушинский**

*Сибирский федеральный университет*

Программа разработана для исследования локальных особенностей двух важнейших морей евразийского континента, оказывающих существенное влияние на формирование климата в западной части материка. Сформированные в Атлантическом океане воздушные потоки, мощность которых довольно велика, приводят к образованию циклонов и антициклонов. Бассейны Черного и Средиземного морей могут являться препятствием для западного переноса воздушных масс, что существенно сказывается на погодных условиях в восточной части евразийского континента. По достижению области средиземноморского бассейна принесенные с Атлантики атмосферные потоки вступают во взаимодействие с водно-воздушными массами этого региона. В ряде случаев происходит локализация циклонов и антициклонов, создается некое препятствие движения воздушных потоков в пределах этих водных бассейнов.

Для работы с программой гидрометеорологические данные, измеренные в приземном слое на суше, дополняются данными, измеренными дистанционно со спутников. Совместное комплексное их применение предоставляет возможность оценить климатическую картину в целом, подтверждать истинность фактов и делать выводы наиболее правильными.

Входные данные по метеостанциям Чёрного и Средиземного морей изначально представлены в трех форматах:

- текстовый – данные, получены с сайта NCDC (National Climatic Data Center – Международный климатический центр данных );

- табличный формат Excel – данные, полученные со станции Морской Геофизической Лаборатории Одесского государственного экологического университета;

- HDF – спутниковые данные MODIS AQUA.

Возникает проблема структуризации данных по времени, локализации, а также формату представления. Данные собраны из разных источников, представляют собой разноформатный материал, что было учтено при разработке структуры базы данных.

Для создания базы данных был использован программный комплекс, состоящий из пяти частей:

- «METEO.FDB» – реляционная база данных;
  - «METEO v1.30» – программа-клиент для работы с базой данных (просмотр, редактирование, выборка данных с помощью встроенного редактора SQL запросов и т.д.);
  - «HDF2SS v1.99» – утилита обработки спутниковых данных из формата HDF в массив DAT;
  - «Kosmo» – утилита импорта обработанных спутниковых данных из файлов формата DAT в БД;
  - «MeteoExp» – утилита экспорта данных из БД в текстовые файлы.
- Структура и связи данного комплекса представлен на рис. 1.

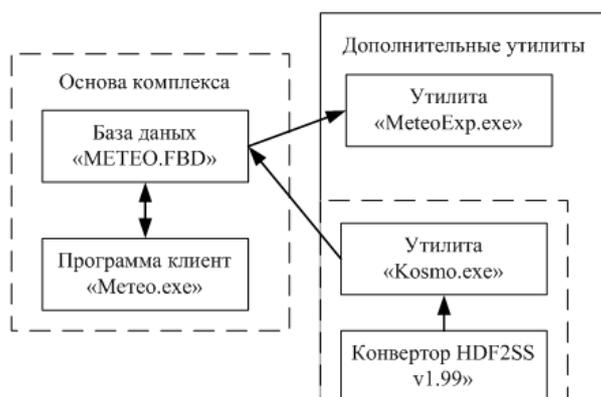


Рис. 1. Блок-схема работы программного комплекса

Для работы со сформированной БД создается электронная карта для обработки необходимых данных. На оцифрованную карту с географической привязкой наносятся метеостанции, пункты измерения гидрологических параметров (рис. 2).

Возможно выделение интересующей области для последующей работы с ней. После выбора на карте станций становится доступной функция построения графиков. Для этого заходим в меню Графики→Показать окно. Появляются 2 окна:

1. AddParamForm.
2. ChartDiagram.

Рассмотрим каждое окно по отдельности.

1. В этой форме (рис. 3) в таблице обозначены те станции, которые были выбраны на карте, и список параметров, заранее обозначенный.

В соответствующие клетки интересующих параметров нужно поставить любой символ. Отмеченные таким образом параметры будут переданы на обработку, пустые клетки будут проигнорированы.

Кнопка «Обновить» перестраивает список выбранных параметров при внесении изменений.

Кнопка «Применить» передает список выбранных станций и параметров в окно ChartDiagram, где непосредственно строится график.

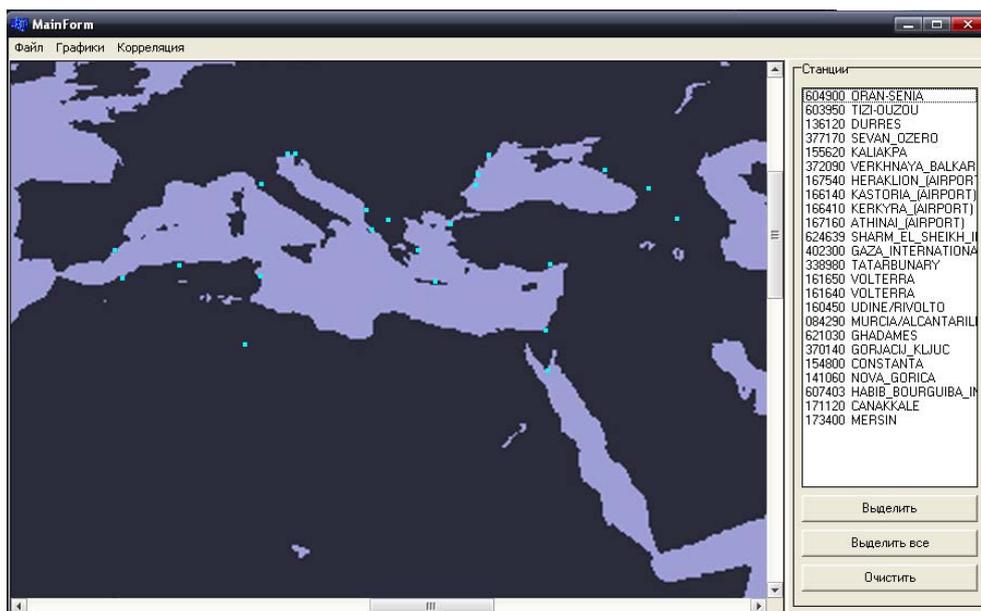


Рис. 2. Главное окно программы

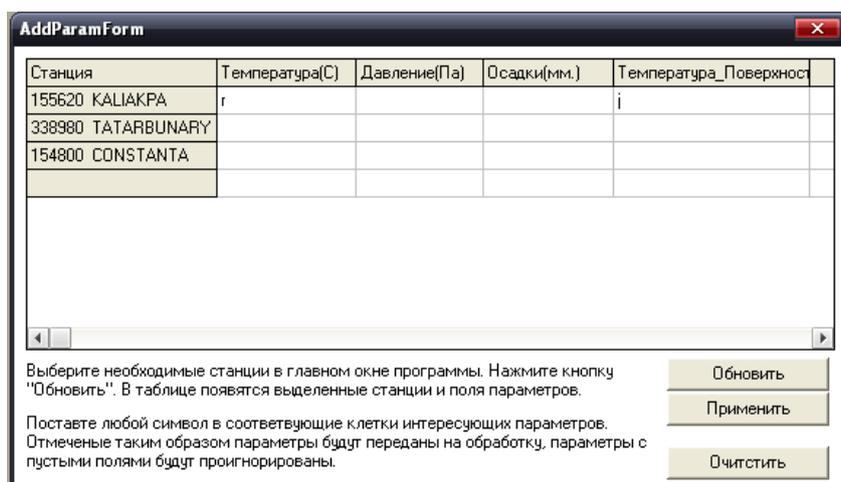


Рис. 3. Окно параметров

2. Окно ChartDiagram состоит из двух частей: поле с графиком и поле с параметрами (рис. 4).

Параметры графиков можно изменять, за исключением колонок: номер, параметр, станция. Как видно из рис. 4, среди прочих параметров имеются лаг и коэффициент сглаживания  $k$ .

Лаг – это смещение графика относительно привязки к датам, т.е. при выставленном лаге «2» значение точки при дате 01.01.1990 будет на самом деле в точке напротив 03.01.1990. Лаг может принимать отрицательные значения.

$k$  – скользящая средняя – расчетная характеристика временного ряда, образуемая путем постепенной замены фактических данных средней арифметической из нескольких уровней ряда (их число рассматривается

как интервал скольжения); причем интервал скольжения перемещается: из него постепенно исключают первый уровень и включают последний, а затем расчет средней повторяется, и т. д. Этот метод, называемый методом скользящей средней, применяется в целях выравнивания временных рядов (например, таких, которые отражают сильные сезонные колебания).

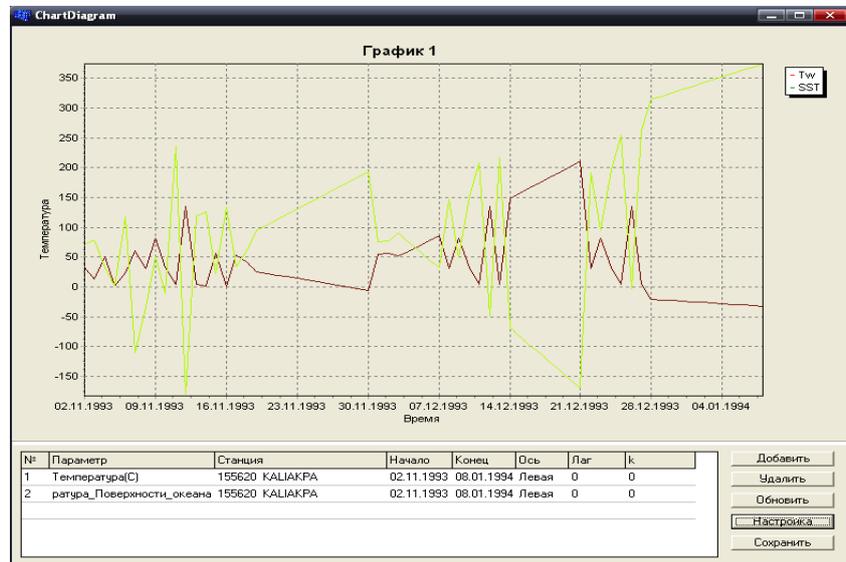


Рис. 4. Окно графиков

С помощью кнопки «Добавить» можно добавить новые графики к уже построенным.

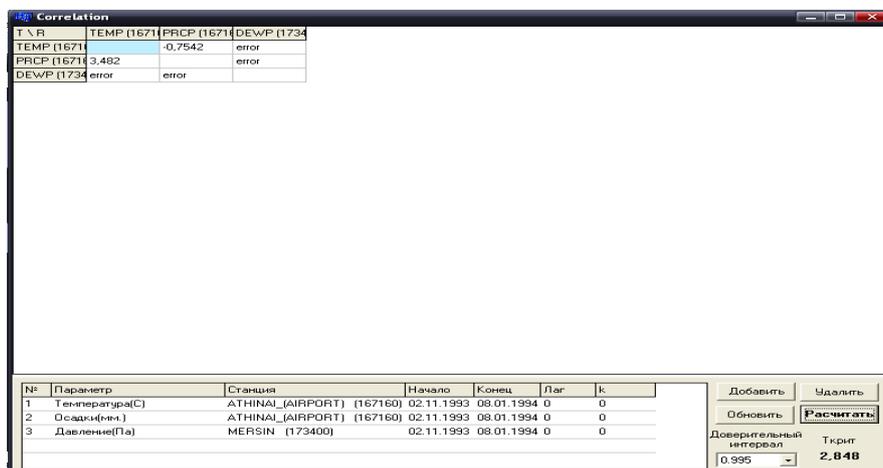


Рис. 5. Окно корреляции

Для построения таблицы парных корреляций необходимо открыть меню Корреляция→Показать окно. Появляются окна AddParam и Correlation. Добавление параметров для корреляции происходит по аналогичной схеме, что и для графиков. После переноса сделанной выборки в окно корреляции (рис. 5) следует выбрать доверительный интервал (Ткрит вычис-

ляется автоматически в зависимости от доверительного интервала и объема выборки по таблице Брадиса) и нажать кнопку «Рассчитать». После чего произойдет генерация таблицы.

Таблица представляет собой квадратную матрицу, строки и столбцы которой – это параметры соответствующей станции (код станции указан в скобках). Сверху от главной диагонали рассчитаны коэффициенты корреляции, снизу – коэффициенты Стьюдента. Error – появляется в том случае, когда тест на проверку Стьюдента не пройден, т. е.  $T_{эмп} < T_{крит}$

С помощью разработанного программного обеспечения возможно проводить исследования не только локальных особенностей бассейнов Черного и Средиземного морей, но и глобальных температурных изменений мирового океана при условии, что данные по метеорологическим показателям будут достаточно полными и корректными.

УДК 681.3.01

## **РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA ДЛЯ GPU**

**С.В. Черников, А.С. Соснин**  
**Научный руководитель Д.А. Кузьмин**  
*Сибирский федеральный университет*

Изучение аэрозольных систем – очень важное направление, поскольку хорошо известно, что аэрозоли играют существенную роль в общем балансе явлений, влияющих на такие важные процессы, происходящие в атмосфере, как перенос солнечного и теплового излучения, облакообразования, фотохимию озона.

Одним из важнейших явлений, которые происходят с участием аэрозоля, выступает процесс его коагуляции, когда в результате броуновского движения, действия внешних сил, изначально отдельные мелкие частицы сталкиваются и в результате процессов адгезии образуют более крупные образования – агломераты или аэрозольные кластеры. Зачастую они обладают свойствами фракталов.

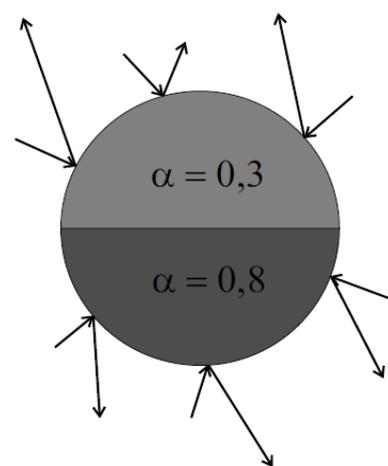
Описание простого процесса тепловой коагуляции основано на представлениях о броуновском движении и диффузии аэрозольных частиц. При этом учитываются и возможные межчастичные потенциалы взаимодействия. Как правило, это электростатическое взаимодействие, в случае если частицы заряжены, и силы Ван-дер-Ваальса, когда расстояние между частицами очень мало.

Однако в последнее время стали появляться работы, посвящённые изучению влияния на коагуляцию аэрозоля других видов взаимодействий, возникающих в результате газокинетических явлений – термофореза[1] и фотофореза[2].

Термофорез – явление направленного движения частицы при наличии температурных полей в газе[3].

Фотофорез [7, 8, 9, 10] возникает в результате поглощения частицами электромагнитного излучения (солнечного света, лазерного излучения, ИК источников и др.), которое приводит к неравномерному разогреву поверхности частицы и, как следствие, к нескомпенсированности импульса, передаваемого молекулами окружающего газа, поскольку после соударения с поверхностью частицы, молекулы покидают её с большей скоростью там, где поверхность разогрета сильнее ( $\Delta T$  фотофорез).

Также сила может возникнуть из-за неравномерности распределения по поверхности частицы параметра, определяющего результат аккомодации энергии молекулы – коэффициента аккомодации  $\alpha$ , трактуемого в рамках зеркально-диффузионной модели, предложенной ещё Максвеллом. По смыслу коэффициент аккомодации есть вероятность того, что молекула, упавшая на поверхность частицы, примет температуру этой поверхности и отразится от нее диффузионно. Соответственно  $1-\alpha$  есть вероятность зеркального отражения молекулы, при котором она не меняет свой температуры.



Рассмотрим  $\Delta\alpha$  фотофорез, при котором движение возникает благодаря разности коэффициента аккомодации на поверхности частицы. Входящий поток молекул на поверхность такой частицы одинаков во всех её точках. На рисунке нижняя часть частицы обладает большим коэффициентом аккомодации. Это приводит к тому, что в общем исходящем потоке молекул с нижней части большая доля молекул, отраженных диффузно, нежели для верхней части, а значит большая доля молекул, принявших температуру частицы и покинувших её с большей скоростью. Следствием этого является нескомпенсированность передаваемого молекулами импульса по поверхности частицы и ее движение вверх.

С целью изучения явления фотофореза [5,6], движения аэрозольных частиц и кластеров под действием фотофоретической силы, а также влияния фотофореза на процессы, протекающие в аэрозольных системах, была разработана модель[4].

Задача моделирования очень сильно усложняется для реальных аэрозольных кластеров. До сих пор не существует какой-либо приемлемой

оценки потоков молекулярного тепла и переноса импульса в случае, когда система состоит из множества частиц с различными параметрами. Здесь становится выгодным применение метода Монте-Карло, на основе которого и был построен алгоритм. Техника расчёта основана на газокинетических уравнениях Больцмана, которые решаются в приближении свободно-молекулярного режима (когда свободный пробег молекулы много больше расстояния между частицами). Порядок задачи понижается за счёт специального разложения рядов Неймана по разделяющимся переменным скоростям и пространственным координатам молекул. Тогда можно использовать специальные матрицы переноса, сократить объёмы вычислений, повысить точность, простым образом получить зависимости физических величин от неизвестных температур частиц. Это позволяет решить нелинейную задачу теплового баланса существенно проще.

Этот алгоритм хорошо поддаётся распараллеливанию на архитектуре CUDA [11, 12]. Для каждой молекулы отводится один поток, все потоки взаимодействуют с массивом структур частиц, представляющих аэрозольный кластер, помещённый внутрь опорной сферы, которая также представлена, как структура в массиве. Для простоты все элементы приняты сферами с радиусом, определённым относительно опорной сферы, что позволяет легко произвести масштабирование.

В работе представлена схема распараллеливания алгоритма, как на уровне потоков, так и на уровне устройств. В работе были использованы многие специфические средства CUDA, что позволило максимально увеличить производительность алгоритма относительно его реализации на классических параллельных архитектурах. Программа является оптимизированной под оборудование кластера СФУ.

Технология NVIDIA CUDA на данный момент является передовой в сфере высокопроизводительных вычислений на графических устройствах. Одним из её плюсов на данный момент считается высокая доступность – в общем случае требуется обыкновенный персональный компьютер, поддерживающий данную технологию.

Полученный опыт может быть использован в будущем при построении моделей коагуляции со сложными типами межчастичных взаимодействий, плохо поддающихся аналитическому описанию.

### **Список литературы**

1. Keh N. J., Chen S. H. Particle interactions in thermophoresis, *Chemical Engineering Science* 50 (21) (1995) 3395 – 3407.
2. Черемисин А.А. Оценка фотофоретического взаимодействия аэрозольных частиц в стратосфере / А.А. Черемисин, А.В. Кушнарченко // *Оптика атмосферы и океана*. – 2010. – Т. 23. – № 6. – С. 475-479

3. Bakanov S. Thermophoresis of aerosols: a review, *Journal of Aerosol Science* 22, Supplement1 (0) (1991) S215 – S218.
4. Cheremisin A. Transfer matrices and solution of the heat-mass transfer problem for aerosol clusters in a rarefied gas medium by the montecarlo method, *Russian Journal Numeric Analysis Mathematics* 25 (2010) 209–233.
5. Cheremisin A., Vassilyev Y., Horvath H. Gravito-photophoresis and aerosol stratification in the atmosphere, *Journal of Aerosol Science* 36 (11) (2005) 1277 – 1299.
6. Cheremisin A. A., Vassilyev Yu. V. and Kushnarenko A. V. Photophoretic forces for bispherical aerosol particles. volume 5027, pages 21–32. SPIE, 2003.
7. Rohatschek H. Direction, magnitude and causes of photophoretic forces, *Journal of Aerosol Science* 16 (1) (1985) 29 – 42.
8. G.F.S., Photophoresis, *Journal of the Franklin Institute* 202 (3) (1926) 407 – 408.
9. Lin S. Onphotophoresis, *Journal of Colloid and Interface Science* 51 (1) (1975) 66 – 71.
10. Chernyak V., Beresnev S. Photophoresis of aerosol particles, *Journal of Aerosol Science* 24 (7) (1993) 857 – 866.
11. Борееков А. В. Основы работы с технологией CUDA / А.В. Борееков, А.А. Харламов. – М.: ДМК Пресс, 2010.– 232 с.: ил.
12. Сандерс Дж. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров / Дж. Сандерс, Э. Кэндрот: пер. с англ. А.А. Слинкина, науч. ред. А. В. Борееков. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 232 с.: ил.

УДК 004.42

## **ВЫСОКОУРОВНЕВОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ И СРЕДА МАТЛАВ. ПОДВОДНЫЕ КАМНИ ИНТЕГРАЦИИ**

**М.М. Чудновский**  
**Научный руководитель О.А. Русанова**  
*Сибирский федеральный университет*

Развитие информационных технологий и производительности современных ЭВМ идет в очень высоком темпе. Усложняются технологии, увеличивается вычислительная мощность компьютеров как домашнего, так и промышленного применения. Исходя из этих предпосылок, происходит расширение круга возможных задач, решение которых возлагается на ЭВМ. Именно

этим обеспечивается появление специализированных информационных систем, или отдельных приложений, для обеспечения сбора, обработки и предоставления необходимых данных в контексте решаемой проблемы или автоматизируемого бизнес-процесса. Жизненный цикл таких систем может быть различным и зависит от сферы применения, а также масштаба реализации. Однако в динамике построения подобных систем можно выделить некоторые общие черты – от поколения к поколению усложняются алгоритмы работы с информационными потоками в системе, а также возрастает объем данных, которые анализируются и обрабатываются ИС.

Современные информационные системы в общем случае имеют модульное построение, причем реализация отдельных составных частей не всегда осуществляется одним разработчиком. К примеру, реализация серверов баз данных и СУБД, посредством которых строится хранилище данных во многих ИС, как правило, осуществляется на основе уже разработанных и активно развиваемых технологий компаний Microsoft, IBM, ORACLE и др. Модульная структура обеспечивает много преимуществ, таких как гибкость разработки, масштабируемость, эффективное использование ресурсов, конвейерная обработка данных. Исходя из этого, процесс обработки данных по сложным и ресурсоемким алгоритмам целесообразно выносить в отдельный структурированный блок. Данное решение позволяет оптимизировать работу информационной системы в целом. Также реализация подобного блока вычислений может осуществляться сторонним разработчиком, в случае параллельной разработки информационной системы. Возможна ситуация, когда часть подсистем и вычислительных блоков уже реализована. В данном случае возникает проблема компиляции данных структурных единиц в единое целое либо эффективное внедрение в уже существующую информационную систему.

Как уже отмечалось, современные информационные системы решают широкий спектр задач. И в зависимости от предметной области зачастую требуется реализация методов обработки данных на основе сложных математических алгоритмов либо необходимо моделирование различных систем или объектов. Ярким примером могут служить системы компьютерного зрения, системы искусственного интеллекта, системы синтеза и распознавания речи.

В зависимости от интегрированной среды разработки (IDE) информационной системы платформы ее развертывания и некоторых прочих условий (например, требований заказчика или ограниченность ресурсов на этапе разработки) вопрос реализации функциональных блоков сложной обработки данных может решаться несколькими способами:

- полная реализация средствами IDE;
- использование библиотек исходного кода, обеспечивающих требуемый функционал;

- использование технологий взаимодействия объектов (COM);
- динамически подключаемые модули.

Каждый из описанных методов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому применение того или иного решения всецело зависит от контекста решаемой задачи.

Наиболее известной средой математического программирования является продукт MATLAB (актуальная версия r2012b) компании MathWorks. Данное решение используется для модельно-ориентированного проектирования (имитационного моделирования), разработки систем управления (САУ, АСУ ТП), систем связи (в том числе ВЧ) и цифровой обработки сигналов (ЦОС, DSP), генерации кода для ПЛИС и микроконтроллеров, анализа и сбора данных, а также для иных вычислительных задач. Исходя из широкой сферы применения и учитывая свободнораспространяемую среду выполнения компонентов MATLAB MCR, задача интеграции функциональных блоков, реализованных в среде MATLAB в конечное приложение, или информационную систему, становится актуальной. Решение подобной задачи может строиться на разных принципах взаимодействия в зависимости от платформы разработки конечного приложения.

Современные IDE, а также среды выполнения приложений представлены очень широко, и поэтому рассмотреть взаимодействие MATLAB с каждой из них не представляется возможным. Одной из самых популярных платформ для разработки приложений является решение компании Microsoft – .net framework. Данная унифицированная среда разработки используется программистами по всему миру, и существует множество решений различного масштаба, построенных на данном «фремворке». Использование данной платформы предоставляет широкие возможности для взаимодействия разрабатываемого приложения с операционной системой, а также набором периферийных устройств на низком уровне. Резюмируя, можно с уверенностью говорить о том, что .net обеспечивает большую интеграцию приложения с ОС по сравнению с внутренними средствами MATLAB (например, MATLAB Gui tools), что еще раз подводит к выводу о целесообразности использования компонентов MATLAB при построении ИС и приложений на базе MS .NET Framework.

Для использования компонентов MATLAB в проектируемом приложении<sup>1</sup> наиболее оптимально применять модели динамически подключаемых компонентов DLL. Компания MathWorks в своем решении предусматривает такую возможность, процесс создания динамических библиотек для различных платформ (в том числе и .NET) реализуется посредством специального компонента MATLAB – Deploy toolbox. Для построения библиотек DLL необ-

---

<sup>1</sup> Здесь и далее подразумевается, что приложение проектируется на базе актуальной версии MS .NET Framework.

ходимо предварительно настроить компоновщик MATLAB, который на основе среды MCR и установленного в системе компилятора языка с++<sup>2</sup> позволяет создавать отдельные приложения MATLAB или компоненты DLL.

Реализация динамических библиотек MATLAB осуществляется на основе функций, написанных на одноименном языке и оформленных в отдельные m-файлы. Результатом работы deploy toolbox в рассматриваемом случае является файл \*.dll, который реализует необходимый класс для .NET. Методами данного класса и обеспечивается функционирование функций MATLAB (функции могут реализовывать практически весь потенциал MATLAB в зависимости от контекста задачи). Для использования библиотеки dll, реализованной посредством MATLAB deploy toolbox, необходимо сделать ссылку на данный модуль из проекта .NET<sup>3</sup>, а также подключить модуль MWArray.dll, который отвечает за обмен информацией между компонентом MATLAB и средой .NET.

При разработке ИС или конечных приложений на языке C# для .NET необходимо также использовать соответствующие пространства имен для использования подключенных библиотек к проекту. Для корректной интеграции необходимы:

- пространство имен, одноименное с DLL модулем, который реализует требующиеся m-функции;
- пространство имен MathWorks.MATLAB.NET.Utility для корректной интеграции;
- пространство имен MathWorks.MATLAB.NET.Arrays для формирования инфопотоков между модулями системы.

Соблюдение описанных требований обеспечивает полноценное взаимодействие MATLAB и .NET, однако как в любом процессе интеграции возможны нештатные ситуации, которые могут привести к некорректной работе системы в целом. По информации от компании MathWorks, существует несколько компонентов MATLAB, которые не могут быть реализованы в качестве самостоятельных приложений, а значит, и в виде динамических модулей для .NET. Данное ограничение обозначивает себя необычным образом, а именно:

- на этапе разработки функции MATLAB проблем не возникает, так как ограничения не вступают в силу;
- на этапе компоновки разработанной функции также не возникает проблем, так как с точки зрения синтаксиса MATLAB – программа корректна;

---

<sup>2</sup> Важно отметить, что могут применяться различные компиляторы – MinGW, Microsoft Visual Studio и др.

<sup>3</sup> В данной статье рассматривается язык программирования C# для платформы .NET, однако это не имеет принципиального значения, так как принцип интеграции един для всех языков среды .NET.

- на этапе подключения модуля в проект .NET проблем также не возникает, так как на этапе компоновки DLL ошибок не возникло;
- на этапе выполнения модуля (не путать с выполнением программы) возникает критическая ошибка, так как среда MCR не поддерживает ряд компонентов MATLAB.

Примером подобной ситуации может служить информационная система голосовой верификации, реализованная на языке C#, базирующаяся на нейросетевом подходе. При подобной реализации перцептрон как основное вычислительное ядро системы выносится в отдельный динамический модуль и реализуется средствами языка MATLAB. Согласно документации MathWorks, все функции реализации нейросетей (командный аналог Neural Networks Toolbox) поддерживаются средой MCR и значит подлежат компоновке в самостоятельное приложение или динамический модуль.

Моделирование созданной и обученной нейросети MATLAB происходит посредством перегруженной функции `sim(object)` одноименного языка, где *object* – объект моделирования. Данная функция является общей для большинства объектов MATLAB и реализует модели их функционирования в зависимости от типа и структуры рассматриваемых объектов. Использование данного метода не поддерживается средой MCR и, как следствие, ограничивает использование многих моделей MATLAB во внешних системах. Следствием этого является то, что процесс создания и обучения нейросети (скомпонованной в отдельный динамический модуль) выполняется корректно, но процесс моделирования полученного объекта вызывает критическую ошибку всей системы. Подобная проблема ставит под сомнение возможность создания системы верификации на основе интеграции Matlab и C# и нейросетевого подхода.

К сожалению, на данный момент официального решения описанной ошибки не существует, более того, реализация его компанией MathWorks не планируется. Однако если рассмотреть структуру нейросети, можно утверждать, что данный объект можно декомпозировать по слоям<sup>4</sup>.

При таком подходе задача моделирования нейронной сети разделяется на задачи моделирования ее отдельных компонентов (слоев) и их взаимодействия. В данном случае становится возможным использование метода MATLAB `tansig(X)`<sup>5</sup>, который обеспечивает функционирование одного сегмента (слоя) нейронной сети и отлично поддерживается средой MCR. В данном случае необходимы параметры нейросети (передаточные функции нейронов, весовые коэффициенты), построение которых обеспечивается встроенными функциями MATLAB для обучения нейросетей, и которые также отлично поддерживаются средой MCR. Данные факты позволяют сделать вывод, что функция `sim(object)` трансформируется в выражение `tansig`

<sup>4</sup> Имеются в виду S-элементы, A-элементы и R-элементы.

<sup>5</sup> В данном случае X – выражение, описывающее соответствующий слой нейронной сети.

$(S)+\text{tansig}(A)+\text{tansig}(R)$ , где  $S, A, R$  – сегменты нейросети для рецепторов, ассоциативных и реагирующих элементов. Таким образом, получается  $m$ -функция, которая полностью поддерживается средой MCR. Данные для нее формируются  $m$ -функциями, которые также выполняются без ошибок в MCR. Исходя из этого, получается готовый динамический модуль Matlab, реализующий нейронную сеть и без ошибок функционирующий в среде MCR, что является решением обозначенной ошибки интеграции.

Выводы. Средства пакета MATLAB являются эффективным инструментом для моделирования нейронных сетей различной структуры. Это позволяет использовать данные модели в научной или производственной практике. Нейронная сеть, реализованная пакетом компании MathWorks, может формироваться в виде отдельного функционального блока, для интеграции в более сложные информационные системы. При такой реализации неизбежно возникает ошибка, ввиду того что на данный момент в среде MCR невозможно моделирование объектов при помощи встроенной функции Matlab. Необходимо отметить, что все функции для создания и обучения нейросети функционируют должным образом и не вызывают ошибок среды. Исходя из этого, можно решить данную проблему интеграции путем декомпозиции исходной нейронной сети на составляющие. Ввиду того, что процессы создания и обучение нейронной сети не вызывают ошибок, можно моделировать поведение отдельных сегментов нейросети, используя данные, полученные в результате выполнения этих процессов. Данное решение позволяет обойти ограничения среды MATLAB и интегрировать воссозданную нейронную сеть в любую целевую систему. Следует заметить, что принципиально такой подход может быть применим не только к средству MATLAB NNtoolbox, но и к другим объектам данного программного продукта, которые моделируются стандартными способами.

В заключение можно сказать, что даже при наличии формализованных интерфейсов интеграции возможно появление тех ситуаций, когда некоторые ограничения конечных систем приводят к некорректной работе интерфейса. В данном случае важны принципы функционирования отдельных структурных блоков, которые реализуются на базе данных систем. В конечном итоге очень часто существует возможность преобразовать некоторые элементы систем так, что становится возможным обойти ограничения интеграции.

### Список литературы

1. Троелсен Э. С# и платформа .NET / Э. Троелсен. СПб: Питер Пресс, 2010. – 769 с.
2. Дьяконов В., Абраменкова И. MATLAB обработка сигналов и изображений: спец. справочник / В. Дьяконов, И. Абраменкова. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

# ИНФОРМАТИКА: ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



УДК 519.688

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ТРЕХМЕРНОГО УРАВНЕНИЯ ЛАПЛАСА НА ПЛАТФОРМЕ CUDA

**С.А. Гризан**  
Научный руководитель **А.И. Легалов**  
*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время наблюдается широкое использование суперкомпьютерных систем, построенных с использованием неоднородных (гетерогенных) архитектур. Основными вычислительными элементами в них являются специализированные графические ускорители (GPU), позволившие обойти кластерные как по пиковой, так и по реально достигнутой производительности. Ситуацию подтверждают последние публикации списков 500 лучших суперкомпьютеров мира, в которых системы на основе графических ускорителей занимают места в первой десятке.

Суть рассматриваемого в данной работе алгоритма заключается в численном решении эллиптического уравнения в постановке задачи Дирихле в некоторой трёхмерной области, сетка на которой задана в виде графа, каждый из узлов которого имеет не более  $N$  соседей.

Описывается опыт переноса на графические вычислители и платформу CUDA метода разложения матрицы СЛАУ на суперпозицию трёх вспомогательных матриц, который в дальнейшем упрощает процесс итерационного построения точного решения. Данный метод активно применяется в популярном пакете OpenFOAM, в результате чего он стал известен под сокращённым названием D-ILU.

После составления тестовой программы, решающей трёхмерное уравнение Лапласа методом Якоби на структурированной и неструктурированной сетках, было решено использовать неструктурированную, так как при её использовании возможно существенно уменьшить количество узлов на целевой модели и тем самым сократить время вычислений.

При сравнении в обоих случаях использовалось равномерное разбиение параллелепипеда, однако в первом варианте данные представлялись как трёхмерный массив, а во втором как некоторый граф, каждой вершине которого соответствует значение моделируемой характеристики в заданном узле, а ребру – связь между соседними узлами. В случае неструктурированной сетки проводилось два типа тестов – оценка производительности при использовании «упорядоченного» графа, в котором все соседние вершины некоторого узла по возможности располагаются подряд в используемом для их хранения массиве, и «перемешанного» графа, где все вершины произвольным образом размещены в соответствующем массиве.

Стоит отменить оптимизации, произведенные при переносе логики работы со структурами данных. В случае неструктурированной сетки возможности по использованию разделяемой памяти фактически отсутствуют, так как для получения индекса соседней вершины требуется прочитать значение из вспомогательного массива индексов, что делает невозможным выделение некоторой подобласти. По этой причине пришлось задействовать такие альтернативные механизмы, как текстурная память и L1-кэш глобальной памяти.

В первом случае адресация массива со значениями происходила через специальные текстурные блоки графического ускорителя, кэширующие сразу некоторый участок памяти. Во втором предполагалось автоматическое использование кэша L1, который поддерживается в графических адаптерах, начиная с архитектуры Fermi, и который, по заявлениям компании NVidia, позволяет достичь лучших результатов, чем при помощи текстурной памяти.

В связи с использованием достаточно удобного формата представления данных, проблемы обеспечения атомарности операций при переносе основной логики отсутствовали. Однако при реализации CUDA версии алгоритма инвертирования одной из вспомогательных матриц возникла необходимость его модификации: в изначальной реализации для этого использовался паттерн вычислений, известный под названием scan и заключающийся в последовательном обходе массива, для обработки  $i$ -го элемента которого требуются результаты обработки всех предыдущих элементов с индексами  $i - 1, i - 2, \dots, 1, 0$ . Очевидно, что данный алгоритм в принципе не подходит для переноса на графический ускоритель, и потому пришлось заменить его итерационным аналогом, который строит приближённое значение искомой обратной. В результате была получена достаточно интересная реализация, в которой присутствуют внешние итерации для построения приближённого решения искомой величины, а также в каждой внешней введены внутренние итерации для инвертирования вспомогательной матрицы.

Подобная реализация требует не только большего количества вычислений, но и нахождения того порога точности при построении вспомога-

тельной матрицы, который обеспечит достаточную скорость сходимости внешних итераций и минимальное суммарное время работы всего решателя. Был проведён ряд тестов, благодаря которым удалось определить, что 3-4 внутренние итерации гарантированно обеспечивают сходимость для всех тестовых данных, и при этом подобная реализация имеет максимальную производительность. Стоит отметить, что при этом в предложенном варианте потребовалось на 30 % больше внешних итераций для достижения заданной точности.

Ниже приведены результаты тестирования сходимости ускоренной версии рассмотренного решателя

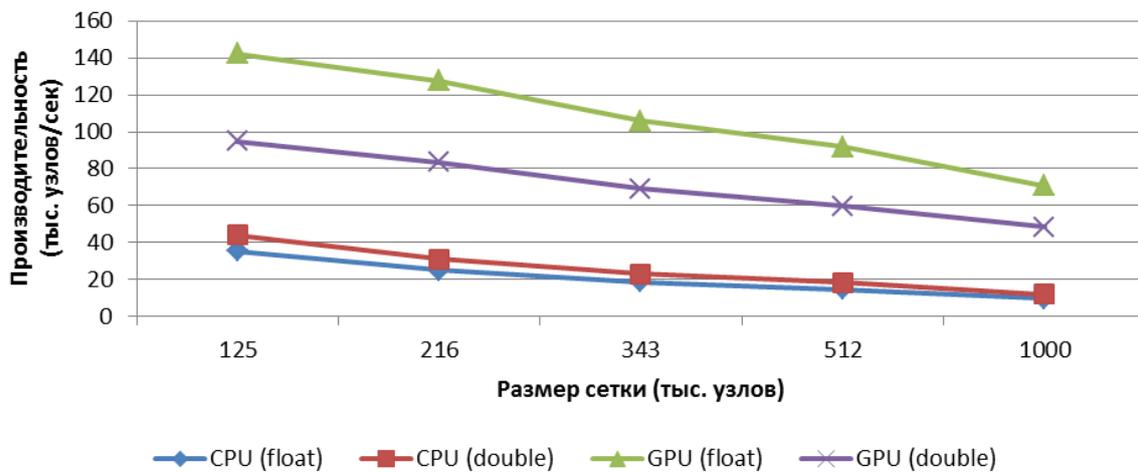


Рис. 1. Скорость вычислений

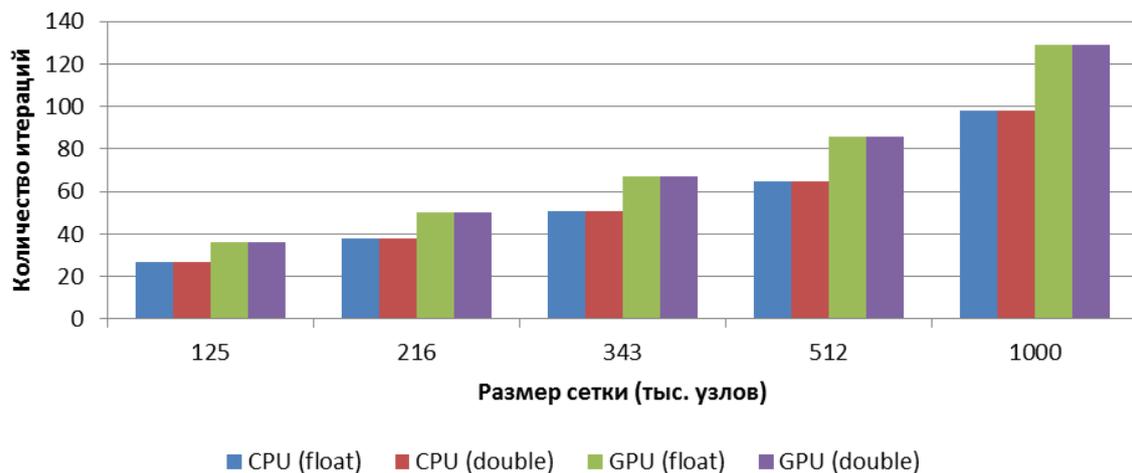


Рис. 2. Скорость сходимости

Как видно из графика, скорость работы алгоритма D-ILU с увеличением размера сеток заметно понижается как при проведении вычислений на графическом ускорителе, так и на центральном процессоре. Итоговое ускорение от портирования составило порядка 4-7 раз. Стоит отметить, что

после проведения ряда работ по оптимизации пересылок данных между центральным и графическим ускорителем возможно повысить скорость работы GPU-версии более чем на 50 % и сделать ускорение 6-12 кратным.

УДК 536.24

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЯ В ОТСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЕ ВЫСОКОНАПОРНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ**

**А.В. Колесниченко**

**Научный руководитель А.А. Дектерев**

*Сибирский федеральный университет*

### **Аннотация**

В статье представлено исследование численного моделирования течения жидкости в отсасывающей трубе модельного стенда Саяно-Шушенской ГЭС.

### **Введение**

Необходимость исследования течения жидкости за рабочим колесом в отсасывающей трубе была обусловлена появлением нежелательных пульсаций давления, приводящих к усталостному разрушению конструкций турбины.

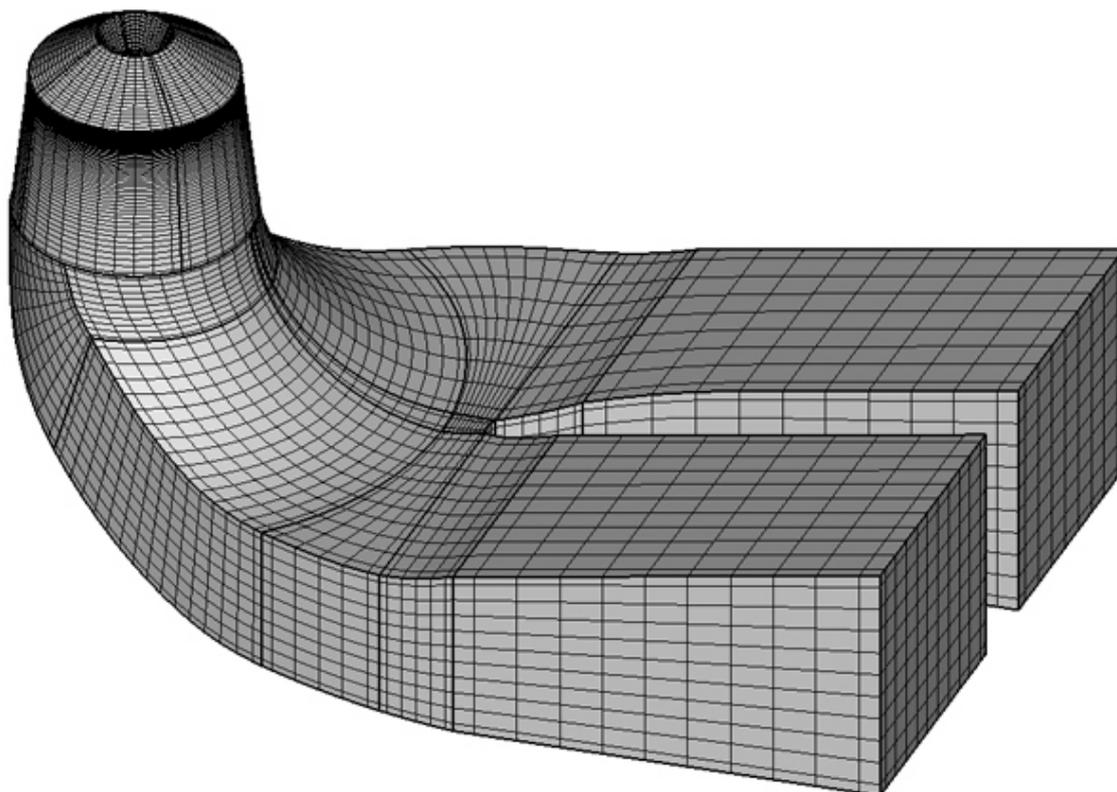
Расчет производился при помощи пакета программ sigmaFlow, разработанного ИТ СО РАН и кафедрой Теплофизики СФУ.

### **Модель**

Расчеты проводились для отсасывающей трубы стенда Саяно-Шушенской ГЭС. Изображение отсасывающей трубы представлено на рис. 1.

Для получения граничных условий на входе были взяты данные расчета течения во всем проточном тракте (спиральная камера, направляющий аппарат, рабочее колесо и отсасывающая труба) при заданном динамическом напоре 21,4 м. Угол раствора конуса входа составлял 70 градусов.

Нестационарный расчет проводился по методу моделирования отсоединенных вихрей, основанному на ограничении турбулентной вязкости. Конвективные члены в уравнении сохранения импульса аппроксимировались по схеме Quick, а для турбулентных характеристик – Umist TVD. Связь полей скорости и давления осуществлялась посредством алгоритма SIMPLEC.



*Рис. 1. Отсасывающая труба. Расчетная сетка 266 тыс. ячеек*

Пульсации давления фиксировались в точке на стенке конуса отсасывающей трубы, которая примерно соответствует положению датчика давления на стенде.

Для расчета использовались блочно-структурированные сетки с разной степенью детализации: 162, 266 и 1062 тыс. ячеек. Сетки были детализованы в конусе отсасывающей трубы и сгущены ко входу.

## **Результаты**

Для исследования влияния детализации сетки на конечные результаты был проведен расчет на сетках с разбиением: 69, 162 и 266 тыс. ячеек. Расчет проводился для режима раствора направляющих лопаток 24 мм (рис. 2).

Как видно из рисунка, расчеты хорошо соотносятся с экспериментальными данными. Положение главных пиков расчетных данных немного сдвинуто в сторону увеличения частоты. Увеличение детализации не дает сдвига основных пиков. Для всех расчетных сеток они четко выделены и соответствуют экспериментальным.

Для дальнейшего исследования была выбрана сетка с наибольшей детализацией. Ниже представлены графики пульсаций давления для режимов раствора направляющих лопаток 14, 24 и 34 мм.

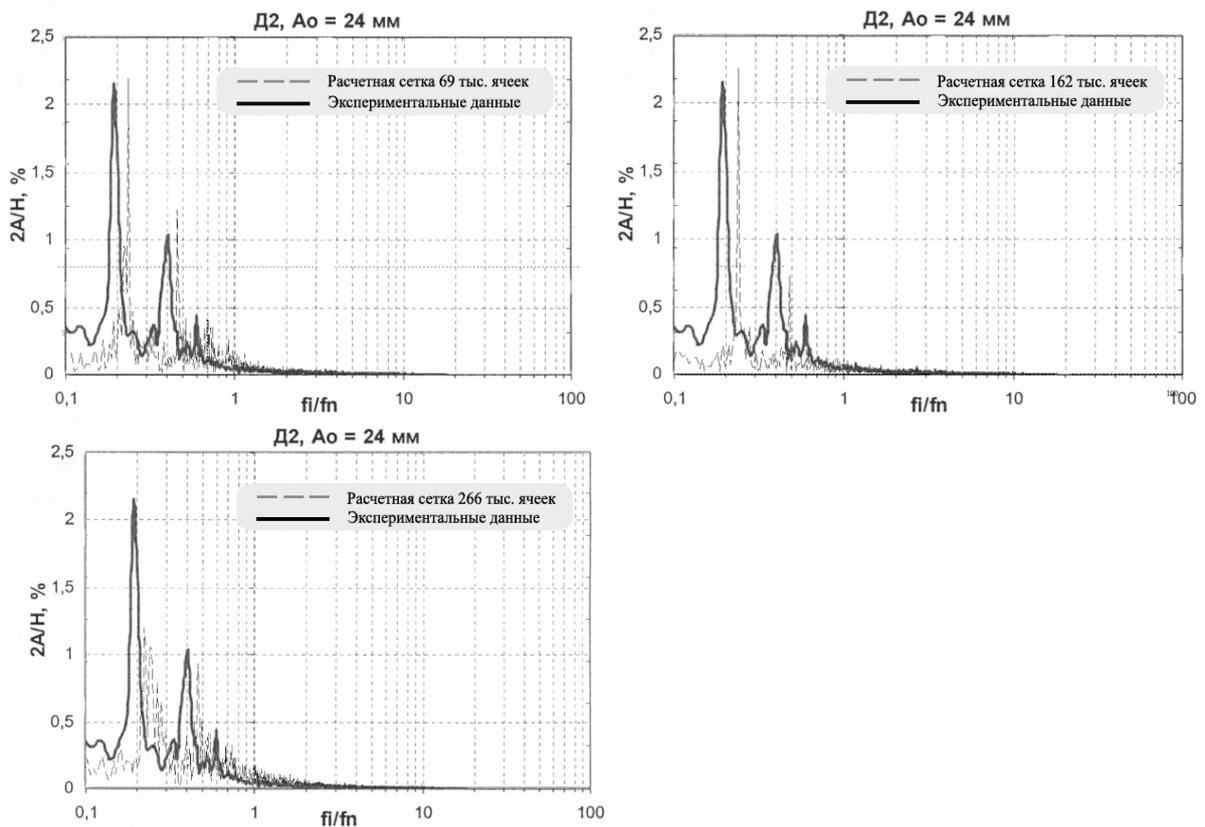


Рис. 2. Пульсации давления на стенке конуса отсасывающей трубы для различных расчетных сеток

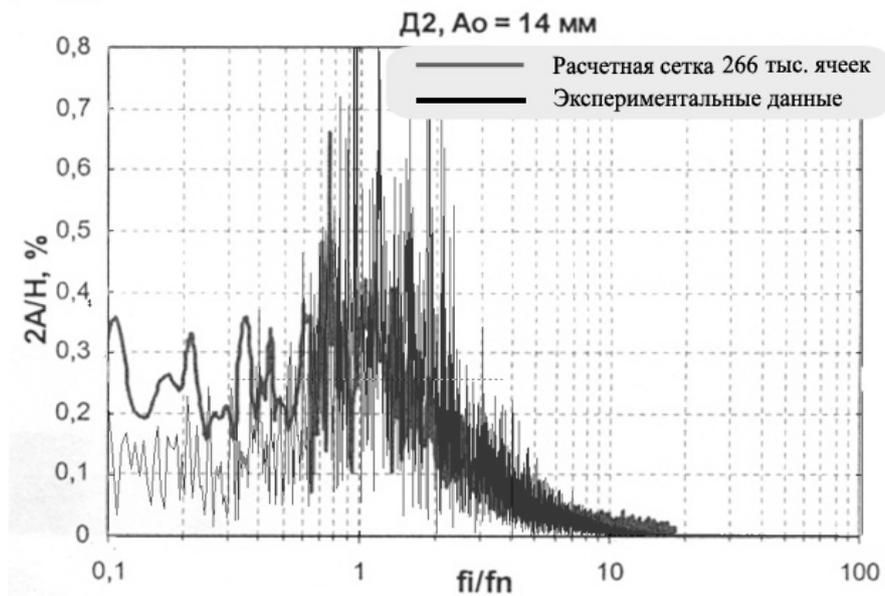


Рис. 3. Пульсации давления. Режим 14 мм

Данные для режима 14 мм качественно соответствуют экспериментальным данным. Интенсивность пульсаций для эксперимента равна значению 10,4 %, для расчетных данных эта величина равна 21 %.

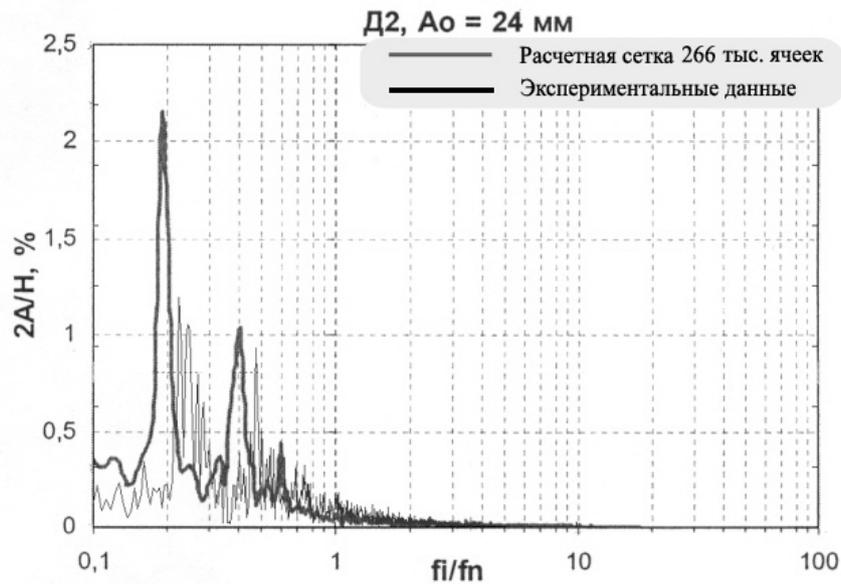


Рис. 4. Пульсации давления. Режим 24 мм

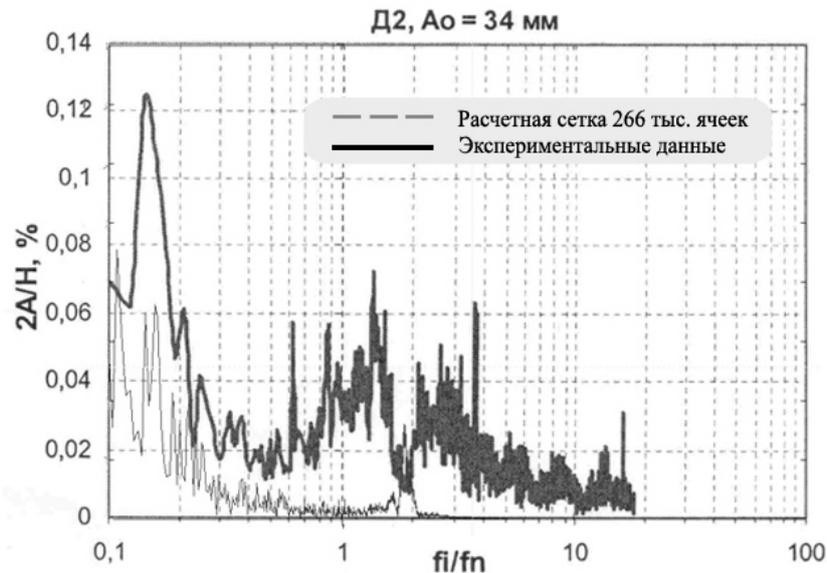


Рис. 5. Пульсации давления. Режим 34 мм

Для режима 24 мм положение пиков немного сдвинуто в сторону увеличения частоты. Интенсивность пульсаций для эксперимента – 7,3 %, для расчетных данных – 6,9 %.

Данные для режима 34 мм качественно соответствуют экспериментальным данным. Интенсивность пульсаций для эксперимента – 1,8 %, для расчетных данных – 3,6 %.

### Заключение

Данное исследование показывает, что расчетные данные хорошо описывают частоту и интенсивность пульсаций и могут применяться в дальнейшем.

## О ВЫЧИСЛЕНИИ ТРЁХМЕРНОГО БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

**В.С. Тутатчиков, О.И. Киселев**  
**Научный руководитель М.В. Носков**  
*Сибирский федеральный университет*

В работе рассмотрены алгоритмы вычисления ДПФ, значительно отличающиеся по своей вычислительной сложности: вычисление трехмерного ДПФ при помощи комбинации одномерного быстрого преобразования Фурье (БПФ), а также трехмерное БПФ по аналогу с алгоритмом Кули-Тьюки.

Рассмотрим сигнал  $f$ , который является трехмерным периодическим сигналом с периодом  $2^s$  по трем координатам. Отсчеты задаются, как  $f(x, y, z)$ , где  $x, y, z = 0 : 2^s$ . Дискретное преобразование Фурье для данного сигнала  $f$  задается формулой:

$$F(a, b, c) = \sum_{x=0}^{2^s-1} \sum_{y=0}^{2^s-1} \sum_{z=0}^{2^s-1} f(x, y, z) \cdot e^{\frac{2\pi i(ax+by+cz)}{2^s}}. \quad (1)$$

Трехмерное ДПФ Фурье  $F$  можно вычислить при помощи одномерных:

$$F(a, b, c) = \sum_{x=0}^{2^s-1} \left[ \sum_{y=0}^{2^s-1} \left[ \sum_{z=0}^{2^s-1} f(x, y, z) \cdot e^{\frac{2\pi i ax}{2^s}} \right] \cdot e^{\frac{2\pi i by}{2^s}} \right] \cdot e^{\frac{2\pi i cz}{2^s}}. \quad (2)$$

Суммы в квадратных скобках представляют собой одномерные вычисления ДПФ по трём координатам сигнала  $f$ . Преобразуем данную формулу разбиением трех координат на четную и нечетную компоненты:

$$\begin{aligned} F(a, b, c) &= \sum_{x=0}^{2^s-1} \sum_{y=0}^{2^s-1} \sum_{z=0}^{2^s-1} f(x, y, z) e^{\frac{2\pi i ax}{2^s}} e^{\frac{2\pi i by}{2^s}} e^{\frac{2\pi i cz}{2^s}} = \\ &= \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1, 2y_1, 2z_1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} + \\ &+ e^{\frac{\pi i a}{2^s}} \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1+1, 2y_1, 2z_1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} + \\ &+ e^{\frac{\pi i b}{2^s}} \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1, 2y_1+1, 2z_1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ib}{2^s}} \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1+1, 2y_1+1, 2z_1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} + \\
& +e^{\frac{\pi ic}{2^s}} \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1, 2y_1, 2z_1+1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} + \\
& +e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1+1, 2y_1, 2z_1+1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} + \\
& +e^{\frac{\pi ib}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1, 2y_1+1, 2z_1+1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} + \\
& +e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ib}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} \sum_{x_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{y_1=0}^{2^{s-1}-1} \sum_{z_1=0}^{2^{s-1}-1} f(2x_1+1, 2y_1+1, 2z_1+1) e^{\frac{2\pi i ax_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i by_1}{2^{s-1}}} e^{\frac{2\pi i cz_1}{2^{s-1}}} = \\
& = F_{0,0,0}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} F_{1,0,0}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{0,1,0}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{1,1,0}(a,b,c) + \\
& +e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{0,0,1}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{1,0,1}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ib}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{0,1,1}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ib}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{1,1,1}(a,b,c),
\end{aligned} \tag{3}$$

где  $a, b, c = 0 : 2^s - 1$ .

Можно показать, что  $e^{\frac{\pi ia}{2^s}}$  обладает свойством симметрии относительно  $a = 2^{s-1}$ :

$$e^{\frac{\pi i(s^{s-1}+t)}{2^s}} = e^{\frac{\pi i 2^{s-1}}{2^s}} \cdot e^{\frac{\pi i t}{2^s}} = -e^{\frac{\pi i t}{2^s}}, \tag{4}$$

где  $t = 0 : 2^{s-1} - 1$ . Аналогично,  $e^{\frac{\pi ib}{2^s}}$  и  $e^{\frac{\pi ic}{2^s}}$  обладают симметрией относительно  $b = 2^{s-1}$  и  $c = 2^{s-1}$ , соответственно. Тогда из (3) и (4) получим:

$$\begin{aligned}
F(a,b,c) &= F_{0,0,0}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} F_{1,0,0}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{0,1,0}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{1,1,0}(a,b,c) + \\
& +e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{0,0,1}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{1,0,1}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ib}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{0,1,1}(a,b,c) + e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ib}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{1,1,1}(a,b,c), \\
F(a+2^{s-1}, b, c) &= F_{0,0,0}(a+2^{s-1}, b, c) - e^{\frac{\pi ia}{2^s}} F_{1,0,0}(a+2^{s-1}, b, c) + e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{0,1,0}(a+2^{s-1}, b, c) - \\
& -e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{1,1,0}(a+2^{s-1}, b, c) + e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{0,0,1}(a+2^{s-1}, b, c) - e^{\frac{\pi ia}{2^s}} e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{1,0,1}(a+2^{s-1}, b, c) +
\end{aligned}$$

$$+e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,1,1}(a+2^{s-1}, b, c) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,1,1}(a+2^{s-1}, b, c), \quad (5)$$

$$\begin{aligned} F(a, b+2^{s-1}, c) &= F_{0,0,0}(a, b+2^{s-1}, c) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} F_{1,0,0}(a, b+2^{s-1}, c) - e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{0,1,0}(a, b+2^{s-1}, c) - \\ &- e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{1,1,0}(a, b+2^{s-1}, c) + e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,0,1}(a, b+2^{s-1}, c) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,0,1}(a, b+2^{s-1}, c) - \\ &- e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,1,1}(a, b+2^{s-1}, c) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,1,1}(a, b+2^{s-1}, c), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(a, b, c+2^{s-1}) &= F_{0,0,0}(a, b, c+2^{s-1}) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} F_{1,0,0}(a, b, c+2^{s-1}) + e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{0,1,0}(a, b, c+2^{s-1}) + \\ &+ e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{1,1,0}(a, b, c+2^{s-1}) - e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,0,1}(a, b, c+2^{s-1}) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,0,1}(a, b, c+2^{s-1}) - \\ &- e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,1,1}(a, b, c+2^{s-1}) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,1,1}(a, b, c+2^{s-1}), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) &= F_{0,0,0}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} F_{1,0,0}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) - \\ &- e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{0,1,0}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{1,1,0}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) + \\ &+ e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,0,1}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,0,1}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) - \\ &- e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,1,1}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,1,1}(a+2^{s-1}, b+2^{s-1}, c), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) &= F_{0,0,0}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} F_{1,0,0}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) + \\ &+ e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{0,1,0}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) - e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} F_{1,1,0}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) - \\ &- e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,0,1}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,0,1}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) - \\ &- e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{0,1,1}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} e^{\frac{\pi b}{2^s}} e^{\frac{\pi c}{2^s}} F_{1,1,1}(a+2^{s-1}, b, c+2^{s-1}), \end{aligned}$$

$$F(a, b+2^{s-1}, c+2^{s-1}) = F_{0,0,0}(a, b+2^{s-1}, c+2^{s-1}) + e^{\frac{\pi a}{2^s}} F_{1,0,0}(a, b+2^{s-1}, c+2^{s-1}) -$$

$$\begin{aligned}
& -e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{0,1,0}(a, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) - e^{\frac{\pi ia}{2^s} e^{\frac{\pi ib}{2^s}}} F_{1,1,0}(a, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) - \\
& -e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{0,0,1}(a, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) - e^{\frac{\pi ia}{2^s} e^{\frac{\pi ic}{2^s}}} F_{1,0,1}(a, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) + \\
& + e^{\frac{\pi ib}{2^s} e^{\frac{\pi ic}{2^s}}} F_{0,1,1}(a, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) + e^{\frac{\pi ia}{2^s} e^{\frac{\pi ib}{2^s} e^{\frac{\pi ic}{2^s}}}} F_{1,1,1}(a, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}), \\
& F(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) = F_{0,0,0}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) - \\
& -e^{\frac{\pi ia}{2^s}} F_{1,0,0}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) - e^{\frac{\pi ib}{2^s}} F_{0,1,0}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) + \\
& + e^{\frac{\pi ia}{2^s} e^{\frac{\pi ib}{2^s}}} F_{1,1,0}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) - e^{\frac{\pi ic}{2^s}} F_{0,0,1}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) + \\
& + e^{\frac{\pi ia}{2^s} e^{\frac{\pi ic}{2^s}}} F_{1,0,1}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) + e^{\frac{\pi ib}{2^s} e^{\frac{\pi ic}{2^s}}} F_{0,1,1}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}) - \\
& - e^{\frac{\pi ia}{2^s} e^{\frac{\pi ib}{2^s} e^{\frac{\pi ic}{2^s}}}} F_{1,1,1}(a + 2^{s-1}, b + 2^{s-1}, c + 2^{s-1}),
\end{aligned}$$

где  $a, b, c = 0 : 2^{s-1} - 1$ .

**Таблица 1.** Сравнение времени работы алгоритмов трёхмерного БПФ при помощи комбинации одномерных и трёхмерное БПФ по аналогу Кули-Тьюки, в секундах

Размер	БПФ при помощи комбинации 1D БПФ	БПФ по аналогу Кули-Тьюки
32*32*32	0,006	0,002
64*64*64	0,045	0,019
128*128*128	0,298	0,134
256*256*256	2.850	1,225
512*512*512	29,840	10,658

Число комплексных умножений алгоритма трёхмерного БПФ по аналогу Кули-Тьюки  $7/8 N^3 \log_2 N$  комплексных сложений  $3N^3 \log_2 N$ , в отличие от метода вычисления при помощи комбинации одномерных БПФ:  $N^3 \log_2 N$  комплексных умножений и  $N^3 \log_2 N$  комплексных сложений. Для тестирования алгоритма была написана программа на языке C++, реализующая два алгоритма: трёхмерное БПФ при помощи комбинаций одномерных БПФ и БПФ по аналогу Кули-Тьюки. Тестирование проводилось на компьютере с процессором Intel Core i5 2400 ГГц, 4 Гб оперативной памяти, операционная система Windows 7. Скорость работы двух ал-

горитмов засекалась в секундах. Результаты работы программы представлены в табл.

В результате исследовательской работы реализован алгоритм трёхмерного БПФ по аналогу Кули-Тьюки, работающий значительно быстрее алгоритма вычисления трёхмерного при помощи комбинации одномерных БПФ.

# ИНФОРМАТИКА: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 614.84

## ИТЕРАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ФАКТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

**М.С. Кадурина**  
Научный руководитель **Ю.Ю. Якунин**  
*Сибирский федеральный университет*

Все организации, проводящие экспертизы и делающие экспертные заключения о соответствии или не соответствии зданий существующим нормам пожарного риска, руководствуются методикой [1], разработанной в МЧС, которая в свою очередь опирается на исследования учёных в этой области. При проведении экспертизы расчётное время эвакуации вычисляется для конкретного пути эвакуации из определённого начального участка до эвакуационного выхода с использованием упрощённой методики. Необходимое время эвакуации может определяться как по упрощённой модели распространения ОФП, так и по более точным моделям. Использование простых или сложных моделей обуславливается временем расчёта на современных вычислительных машинах и точностью выдаваемых ими результатов.

Расчет по упрощенной математической модели менее эффективен, так как он производится по всем участкам последовательно и люди всем количеством переходят из одного помещения в другое, собираясь на каждом участке. Математическая модель индивидуально-поточного движения людей характеризуется большим количеством вычислений, так как рассчитывает положение каждого человека, что при большом количестве людей в здании может создать проблемы для расчета. В начале 80-х гг. прошлого века проф. В.В. Холщевниковым была разработана модель ADLPV, которая в рамках современной терминологии называется имитационно-стохастической. Эта модель значительно точнее за счет деления здания на

элементарные участки шириной около 1 м и выполнения нескольких расчетных операций в секунду для каждого участка. Тем не менее применение модели затруднено при анализе индивидуальных особенностей эвакуации человека [2].

Учитывая недостатки описанных моделей и объединяя достоинства, была разработана и предложена улучшенная модель расчета фактического времени эвакуации, которая была названа итерационной. Итерационная модель за отрезок времени  $t_0$  перемещает некоторое количество людей на следующий эвакуационный участок, таким образом, люди эвакуируются со всех участков здания одновременно.

План здания можно представить в виде графа, в котором вершины – участки эвакуации, а ребра – возможные переходы, для упрощения моделирования движения и наглядного отображения переходов с участка на участок [3]. Весь граф можно разбить на уровни. Элементами первого уровня будут участки, из которых существует только выход. Следующий уровень будет состоять из участков, в которые существует переход из участка первого уровня и т. д.

Предположим, что люди на каждом участке эвакуации постоянно движутся по направлению к выходу из здания, последовательно переходя с одного участка на следующий. Граф задается с учетом следующего: эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной  $a_s$  и шириной  $b_s$ . Шириной участка, в случае выхода в вестибюль ( $b_s > 4$  м.), если количество людей меньше 100 и ширина участка меньше или равна 6 м., принимается ширина людского потока, равная 4 м., в остальных случаях 6 м.. Шириной выхода с эвакуационного участка является ширина дверного проема или меньшая ширина среди текущего и следующего эвакуационного участка. Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных – по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Проем, расположенный в стене, толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельными участками горизонтального пути, имеющими конечную длину  $a_s$  [1]. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз и лестница вверх). Теперь, построив граф плана эвакуации, становится возможным использование модифицированного итерационного алгоритма, построенного на основе упрощенной аналитической модели движения людского потока и математической модели индивидуально-поточного движения людей.

Основной идеей разработанного алгоритма является расчет относительно небольших отрезков времени для того, чтобы модель оставалась простой, но и была достаточно приближена к реальности. Таким

образом, люди эвакуируются с каждого участка эвакуации небольшими группами за одну итерацию расчета. Отрезок времени, относительно которого производится расчет, определяется как время, за которое человек преодолеет расстояние, равное длине текущего эвакуационного участка, и рассчитывается на каждом участке. Расчетное время может выбираться двумя способами. Для точного расчета время находится по формулам упрощенной аналитической модели, для менее точного – по формуле интенсивности людского потока в дверном проеме (на выходе с эвакуационного участка).

**Первый способ** заключается в нахождении интенсивности в дверном проеме текущего участка, если количество людей на участке больше 0.

$$q^{(k)} = 2.5 + 3.75 \cdot c_s, \quad (1)$$

где  $c_s$  – ширина дверного проема или выхода с участка  $s$ , м.

Затем по таблице интенсивности и скорости движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности находится соответствующая найденной интенсивности скорость движения  $V^{(k)}$ , м/мин. Далее рассчитывается искомое время.

$$t_{0_s}^{(k)} = \frac{a_s \cdot 60}{V^{(k)}}, \quad (2)$$

где  $t_{0_s}^{(k)}$  – время, за которое человек преодолеет расстояние, равное длине текущего эвакуационного участка, с.

**Второй способ** расчета использует формулы упрощенной аналитической модели движения людских потоков. По значениям плотности однородного людского потока (3) и интенсивности в дверном проеме (выходе с участка) (4) из таблицы находится значение скорости для текущего эвакуационного участка.

$$D_{s^{(k)}} = \frac{N_{s^{(k)}} \cdot f}{a_s \cdot b_s}, \quad (3)$$

где  $N_{s^{(k)}}$  – число людей на  $s$ -ом эвакуационном участке, чел.;  $f$  – средняя площадь горизонтальной проекции человека, м<sup>2</sup>;  $a_s$  – длина  $s$ -го эвакуационного участка, м;  $b_s$  – ширина  $s$ -го эвакуационного участка, м.

$$q_{c_s}^{(k)} = \frac{q_{s^{(k)}} b_s}{c_s}, \quad (4)$$

где  $q_{s^{(k)}}$  – интенсивность на  $s$ -ом эвакуационном участке, соответствующая найденной плотности потока  $D_{s^{(k)}}$ , м/мин.

Отрезок времени по второму способу  $t_{0_s}^{(k)}$  рассчитывается по формуле (2).

Так как расчет времени происходит на каждой итерации для всех участков, необходимо определить отрезок времени  $t_{0_s}^{(k)}$ , относительно которого будем считать количество людей, переходящих на следующий участок. Для выбора расчетного времени также предлагается два варианта. Первый заключается в использовании формулы математического ожидания, для того чтобы получить расчетное время  $t_0^{(k)}$ , которое используется для расчета количества переходящих людей на следующий участок относительно одного общего расчетного времени (5), т. е. используется одно расчетное время для всех эвакуационных участков.

$$t_0^{(k)} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n t_{0_s}^{(k)}, \quad (5)$$

где  $s$  – эвакуационный участок;  $n$  – количество эвакуационных участков.

Второй вариант заключается в использовании расчетного времени  $t_{0_s}^{(k)}$  для эвакуационного участка  $s$ , т. е. расчетное время будет не общее для всего здания, а индивидуальное для каждого участка, и оно будет равно времени, полученному на этом участке в начале расчета каждой итерации. Для того чтобы синхронизовать расчет эвакуации по участкам, так как время на каждом участке будет разным, предлагается учитывать общее время процесса  $T$ . Выбор шага времени  $T$  выбирать в зависимости от требуемой точности расчета. В таком случае участки будут обрабатываться в логической последовательности и перерасчет количества людей на каждом участке происходит тогда, когда

$$\left( T - \sum_{k=1}^i t_0^{(k)} \right) \leq 0, \quad (6)$$

где  $i$  – количество итераций на данном участке.

То есть после очередного перерасчета количества людей на участке  $s$  на итерации  $(k-1)$ , следующий перерасчет будет через время  $t_{0_s}^{(k)}$ . Данный вариант выбора расчетного времени следует использовать для улучшенного моделирования эвакуации людей из здания при пожаре. Первый вариант является упрощенным, но его также допускается использовать.

Расчеты, приведенные в формулах (7-9), следует повторить на каждой итерации для всех эвакуационных участков, если количество людей на текущем участке эвакуации больше 0. Для упрощения описания в формулах перерасчета людей расчетное время указывается как  $t_0^{(k)}$ , но следует учитывать, что если для выбора расчетного времени использовался второй вариант, то предполагается, что в формулах (7-9)  $t_0^{(k)} \equiv t_{0_s}^{(k)}$ .

Плотность людского потока и количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, будут рассчитываться по формулам математической модели индивидуально-поточного движения людей. Для расчета плотности людского потока  $Dv_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$  на эвакуационном участке  $s$ , используем рассчитанный отрезок времени  $t_0^{(k)}$  (7,8).

$$Dv_{s^{(k)}}(t_0^{(k)}) = \frac{N_{s^{(k)}} \cdot f \cdot t_0^{(k)}}{a_s \cdot b_s}. \quad (7)$$

Затем по таблице интенсивности и скорости движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности находится соответствующая плотности  $Dv_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$  интенсивность движения на выходе с участка  $q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$ , м/мин; затем вычисляется количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой за  $t_0^{(k)}$ ,  $Q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)})$ , чел.

$$Q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)}) = \frac{q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)}) \cdot c_s \cdot t_0^{(k)}}{f \cdot 60}. \quad (8)$$

Количество человек, которые полностью перешли на следующий эвакуационный участок за  $t_0^{(k)}$ , вычесть из количества человек на текущем эвакуационном участке. Если участок  $s$  является участком первого уровня, по терминам графового представления плана эвакуации, значение  $Q_{s-1^{(k)}}(t_0^{(k)}) = 0$ .

$$N_{s^{(k+1)}} = N_{s^{(k)}} - Q_{s^{(k)}}(t_0^{(k)}) + Q_{s-1^{(k)}}(t_0^{(k)}). \quad (9)$$

В случае если последующий участок не один, люди будут распределяться либо в равных долях на каждый участок, либо распределение людских потоков между возможными эвакуационными выходами, когда они не блокированы, происходит согласно закономерностям, приведенным в методике [2]. Расчет провести для всех  $s$  эвакуационных участков до тех

пор, пока количество человек в здании не станет равным 0. Время эвакуации равно сумме  $t_0^{(1)}, \dots, t_0^{(i)}$  каждой итерации.

Необходимо отметить, что расчетный отрезок времени прямо пропорционален длине участка, что иногда может быть не оптимальным для расчета. То есть для получения результатов, приближающихся к практическому времени эвакуации, слишком длинные участки следует разбивать на несколько коротких участков.

Внедрение предложенной итерационной модели расчета времени эвакуации людей при пожаре в методику расчета пожарного риска экономически выгодно, так как региональное отделение МЧС, в случае несоответствия проектируемого здания противопожарным нормам, сможет дать уточненные рекомендации. Это связано с тем, что при расчете по упрощенной аналитической модели малое значение имеет изменение ширины дверного проема или количества людей, так как расчет производится относительно людских потоков. А также достигается минимальная погрешность, за счет меньшего времени задержки, чем в упрощенной модели.

Достигается небольшая вычислительная сложность, в отличие от модели индивидуально-поточного движения людей, так как для расчета по итерационной модели необходимо меньшее количество более простых вычислений. К тому же, расчет по итерационной модели возможно производить параллельно, что позволит более эффективно использовать вычислительное устройство, а также все вышеописанное позволит сократить время расчета. Модель не вводит никаких новых расчетных величин, и за счет этого ее можно быстро ввести в эксплуатацию, что также является ее преимуществом.

### Список литературы

1. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
2. Самошин, Д.А. Программные комплексы для расчета эвакуации людей / Д.А. Самошин// Материалы международной конференции «Производство. Технология. Экология». Ижевск. 2010. – С. 50-52
3. Алгоритм поиска наихудшего сценария возникновения пожара / А.А. Даничев, А.М. Даничев, А.В. Кузнецов, Ю.Ю. Якунин// Вестник сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнёва. – Красноярск: СибГАУ, 2011. – Вып. 7(40). – С. 20-24.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРОКОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ

Д.В. Смирнова

Научный руководитель А.В. Чубарь

Сибирский федеральный университет

Современные системы управления технологическим процессом (машиностроение, робототехника, энергетика) требуют применения программно-инструментальных комплексов (ПИК) с развитыми интерактивными возможностями имитационного моделирования реальных производственно-технологических ситуаций.

Решением проблемы обучения персонала таких систем является создание комплекса лабораторно-методического практикума для изучения управления и контроля технологическим процессом, а также принципов построения технологических процессов в SCADA-системах. Комплекс лабораторно-методического практикума представляет собой информационную систему (ИС), структура которой изображена на рис. 1.

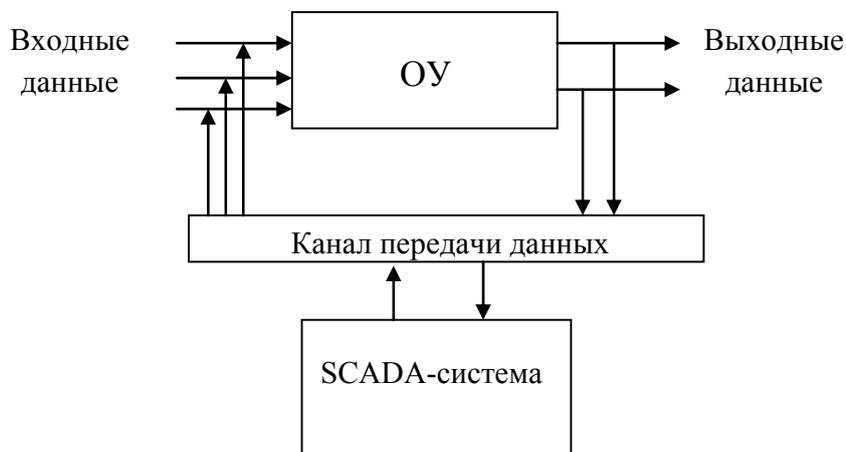


Рис. 1. Структура ИС

Объект управления (ОУ) представлен черным ящиком, на вход которого поступают входные данные ОУ, преобразующиеся в выходные по определенным правилам. Черный ящик содержит в себе математическое описание объекта.

Реализация математической модели ОУ возможна с помощью пакета моделирования MBTU 3.7. Математическое моделирование рабочих процессов производится с использованием методов структурного моделирования. Математическое описание котла как объекта управления представлено на рис. 2.

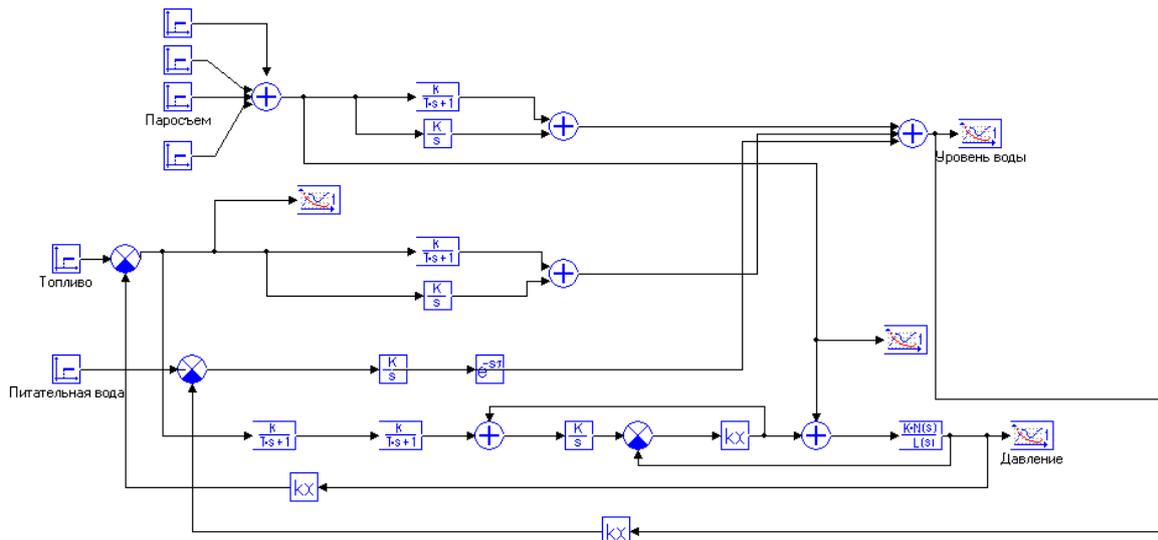


Рис. 2. Математическое описание котла как объекта управления

SCADA-система предназначена для отображения хода технологического процесса и оперативного управления. Функции SCADA в ИС заключаются в сборе первичных данных с ОУ (МВТУ), обработке первичных данных, регистрации алармов и исторических данных, хранении информации с возможностью ее пост-обработки (как правило, реализуется через интерфейсы к наиболее популярным базам данных), визуализации информации в виде мнемосхем, графиков и т.д.

На примере парокотельной установки создан комплекс лабораторных работ по разработке и реализации управления технологическим процессом с использованием встроенной в пакет МВТУ 3.7 SCADA-системы. Данный комплекс включает в себя автоматизированное рабочее место оператора (АРМ), содержащее монитор реального времени (МРВ) и диалоговое окно настройки параметров системы автоматического регулирования (САР) уровня воды в барабане котла, давления и температуры полученного пара. МРВ отображает технологический процесс с помощью мнемосхем, графиков, трендов. Диалоговое окно настройки параметров САР позволяет студентам самостоятельно подобрать и настроить необходимые параметры для получения выходных характеристик в заданных диапазонах. Задача настройки САР состоит в том, чтобы, имея сведения об объекте управления и заданные требования ко всей системе, обеспечить наиболее полную их реализацию. Общий вид АРМ оператора представлен на рис. 3.

Созданное АРМ обеспечивает связь оператора с ОУ в интерактивном режиме. Сигнализация и алармы позволяют оперативно принимать управленческие решения.

Полученный имитационный стенд дает возможность будущим специалистам ознакомиться с технологическим процессом, с основными функциональными возможностями SCADA-систем и самостоятельно про-

известии настройку параметров САР. Также имитационный стенд позволяет оператору до натуральных испытаний оценить поведение проектируемой установки, выявить причины возможного возникновения нештатных ситуаций и предложить новые технические решения по предотвращению аварийных ситуаций, которые могут приводить к тяжелым экономическим или экологическим последствиям.

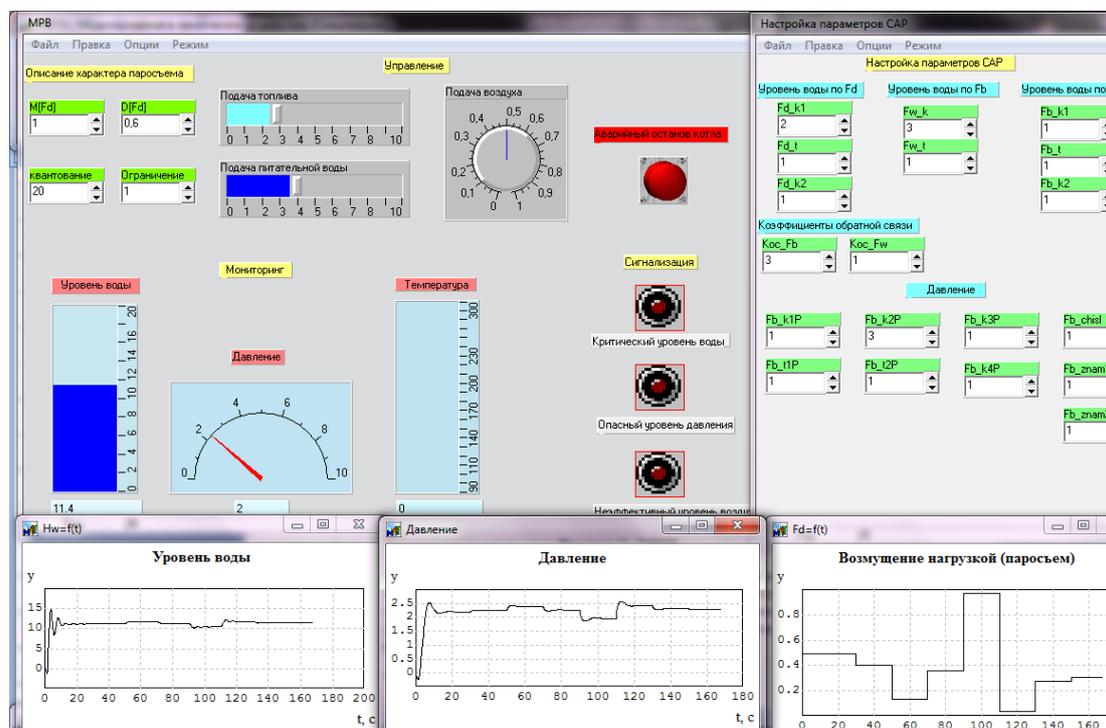


Рис. 3. Общий вид АРМ оператора

УДК 519.24

## К ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

**М.В. Цепкова**

**Научный руководитель Н.А. Сергеева**  
*Сибирский федеральный университет*

Настоящий доклад посвящен проблеме непараметрической идентификации динамических процессов или идентификации в «широком» смысле. В частности, рассматривается построение модели линейной динамической системы, когда параметрическая структура объекта неизвестна.

На рис. 1 представлена схема исследуемого процесса. Введем следующие обозначения:  $u(t)$  – измеряемая управляемая входная переменная,  $\mu(t)$  – измеряемая неуправляемая входная переменная,  $x(t)$  – выходная переменная процесса, которую без нарушения общности можем считать скалярной,  $\xi(t)$  – случайное возмущение с нулевым математическим ожиданием и ограниченной дисперсией,  $h_t^u, h_t^x$  – случайные помехи, действующие в каналах измерения входной и выходной переменных процесса ( $M(h) = 0, D(h) < Const$ ),  $u_t^h, x_t^h$  – измерения входной и выходной переменных процесса соответственно, ИУ – измерительное устройство. В общем случае  $u(t), \mu(t)$  являются векторами:  $u(t) \in R^k, \mu(t) \in R^m, \xi(t) \in R$ . Для простоты записи будем обозначать измерения входных и выходных переменных  $u_t^h, \mu_t^h, x_t^h$  через  $\{(u_i, \mu_i, x_i), i = \overline{1, s}\}$ .

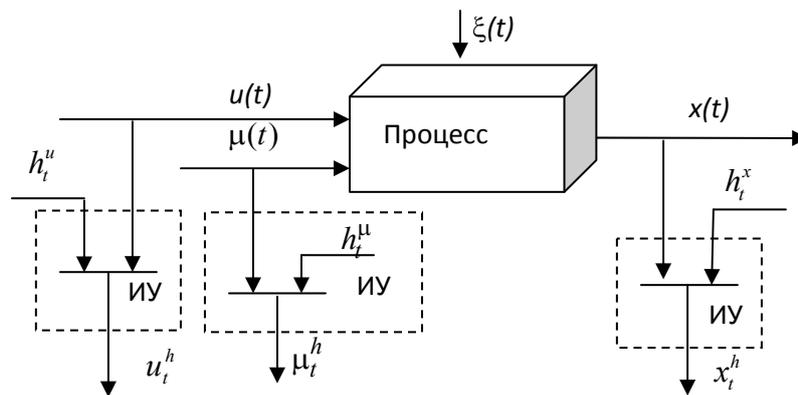


Рис. 1. Схема динамической системы

Таким образом,  $x(t)$  – может быть представлена в виде объективно существующей зависимости:  $x(t) = A(u(t), \mu(t), \xi(t), t)$ , где  $A$  – неизвестный оператор процесса,  $u(t) \in R^k, \mu(t) \in R^m, \xi(t) \in R^\lambda$ .

Измерение переменных  $x(t), u(t)$  и  $\mu(t)$  осуществляется со случайными ошибками, имеющими нулевое математическое ожидание и ограниченную дисперсию, плотность вероятности их неизвестна. Обозначим эти наблюдения  $x_t, u_t, \mu_t, t = 1, 2, \dots$ , здесь  $t$  – дискретное время. Исследователь при моделировании подобных процессов преследует цель построения математической модели  $\hat{x}(t) = B(u(t), \mu(t), t)$ , где  $B$  – класс операторов, который определяется на основании имеющейся априорной информации,  $\hat{x}(t)$  – выход модели. Ясно, что в этом случае стремятся к близости  $\hat{x}(t)$  к

$x(t)$  в смысле принятого критерия оптимальности. Проблема моделирования подобных процессов усугубляется недостатком априорной информации об операторе  $A$  и высокой размерностью переменных  $u(t)$  и  $\mu(t)$ .

Поскольку эффект запаздывания содержится в самой сущности исследуемого объекта, то в дальнейшем понадобится «снятие» переходных характеристик, то оно учитывается по результатам проведенных экспериментов. Из соображений простоты, запаздывание в предыдущих формулах принято равным 0. В частности этот факт иллюстрируется рис. 2, где  $\tau_3$  – запаздывание при снятии переходной характеристики.

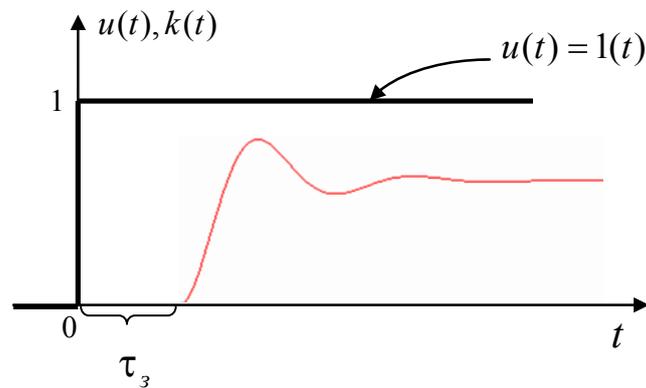


Рис. 2. Переходная характеристика с запаздыванием

Так как необходимо получить весовую функцию  $h(t)$ , на вход линейной динамической системы с нулевыми начальными условиями подается функция Дирака. Необходимость получения весовой функции связана с тем, что в ней содержится полная характеристика объекта. Вход объекта  $u(t)$  представляет собой  $\delta$ -функцию, которая имеет вид системы, представленной формулой (1).

$$u(t) = \begin{cases} H, & t \in [\tau; \Delta T + \tau]; \\ 0, & t \notin [\tau; \Delta T + \tau], \end{cases} \quad (1)$$

где  $\Delta T$  – ширина интервала,  $\tau$  – чистое запаздывание,  $H$  – высота ступени.

Входное воздействие  $u(t) = \delta(t)$  можно задавать двумя способами: через высоту ступени  $H$  и через ширину интервала  $\Delta T$ .

Первый способ включает в себя определение величины шага через задаваемую высоту ступени  $H$ . Вычисляется величина шага из площади прямоугольника:  $\Delta T = 1/H$ . После определения шага строится входное воздействие  $u(t)$  на всем временном интервале  $[0, T]$ , где  $T$  – конечное время, задаваемое исследователем.

Второй способ заключается в задании ширины интервала  $\Delta T$ . В этом случае вводится еще и количество интервалов под ступенькой  $n$ . Сначала определяется шаг сетки по формуле  $\Delta t = ((\Delta T + \tau) - \tau) / n$ , где  $n$  – количество интервалов под ступенькой. После определения шага сетки необходимо определить высоту ступени. Она определяется через площадь трапеции:

$$H = 2 / (\Delta T + (\Delta T - 2\Delta t)), \quad (2)$$

где  $\Delta t$  – шаг сетки.

Далее также определяется входное воздействие на всем временном интервале. После того как входное воздействие  $u(t)$  заданно, строится реакция на входное воздействие  $x(t)$ . Выход объекта  $x(t)$  описывается зависимостью, выраженной формулой  $x(t) = ax(t-1) + bx(t-2) + cu(t)$ , где  $x(t-1)$  – значение выхода объекта в предыдущий такт времени,  $x(t-2)$  – значение выхода объекта в такт времени  $(t-2)$ ,  $u(t)$  – вход объекта,  $a, b, c$  – коэффициенты системы.

На следующем этапе вычислений к весовой функции  $h(t)$  добавляется помеха, распределенная по нормальному закону, сгенерированная с помощью прецизионного-генератора (П-генератор), параметрами которого является математическое ожидание, равное  $m = 0$ , и среднее квадратичное отклонение  $\sigma = 0,1$ .

После того как получена весовая функция, необходимо получить ее оценку, которая строится по следующей формуле:

$$\hat{h}(t) = T \sum_{i=1}^N \left( x_i H \left( (t - t_i) / c_s \right) \right) / N c_s, \quad (3)$$

где  $x$  – значение выхода объекта,  $H(z)$  – ядерная функция,  $N$  – объем выборки,  $c_s$  – коэффициент размытости, удовлетворяющие свойствам сходимости,  $T$  – конечное время.

Для того чтобы проверить адекватность полученной оценки весовой функции, считается ее относительная ошибка на временном отрезке  $[0, T]$ . Оценка рассчитывается по следующей формуле

$$s_h = 100 / N \sum_{i=1}^N |h(t_i) - \hat{h}(t_i)| / |h_{\max} - h_{\min}|. \quad (4)$$

Сравниваются оценка весовой функции, полученная по формуле (3), и истинное значение весовой функции.

Далее приведены результаты исследования весовой функции. Рассмотрим различные способы задания  $\delta$ -функции и получающуюся при этом величину относительной ошибки. В табл. (1) приведены результаты при задании  $\delta$ -функции через ширину интервала  $\Delta T$ , в табл. (2)  $\delta$ -функция задается через высоту ступени  $H$ . Эти результаты получены при начальных условиях: конечное время  $T = 15$ , объем выборки  $N = 150$ .

**Таблица 1**

$\Delta T$	0,1	0,01	0,076	0,3	0,9
$n$	20	30	30	30	30
$s_h, \%$	1,11	0,52	0,87	2,57	5,45
$H$	13	111	14	3	1

**Таблица 2**

$H$	10	13	110	3	1
$s_h, \%$	2,15	1,86	0,42	3,84	5,6
$\Delta T$	0,1	0,076	0,001	0,3	1

Из таблицы видно, что при ширине интервала  $\Delta T = 0,9$  относительная ошибка, полученная по формуле(5), получается равной  $s_h = 5,45$  при количестве интервалов под ступенькой  $n = 30$ . Брать  $\Delta T$  больше этого значения не имеет смысла, так как это приводит к увеличению ошибки.

Сравним полученные результаты графически, оценивается приближенность весовой функции к истинному значению, которое не зависит от способа задания  $\delta$ -функции. Рассмотрим полученные результаты при ширине интервала  $\Delta T = 0,076$ , при такой ширине получались результаты с удовлетворяющей величиной ошибки, которые приведены в табл. (1) и в табл. (2). На рис. 3 приведены оба способа задания  $\delta$ -функции с исходными параметрами, на рис. 3а  $H = 13$ , на рис. 3б  $\Delta T = 0,076$  и  $n = 20$ . На рис. 3а видно, что весовая функция отклоняется от истинного значения, однако весовая функция, полученная через задание ширины интервала, наиболее приближена к истинному значению весовой функции (рис. 3б).

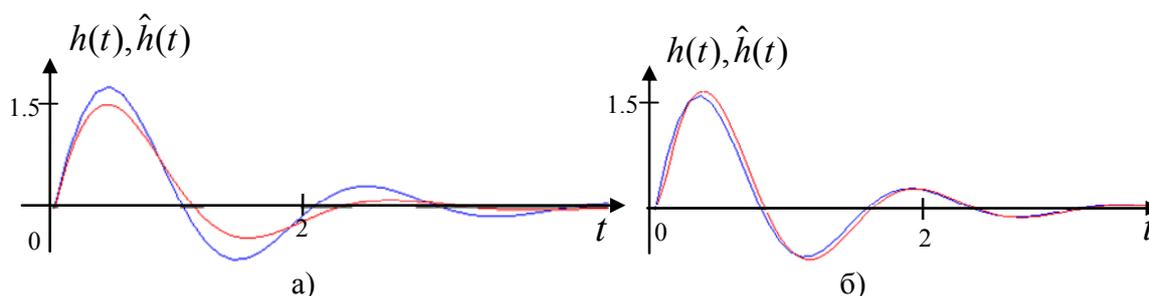


Рис. 3.  $\delta$ -функция при  $\Delta T = 0,076$ ,  $H = 13$

Стремление задать  $\delta$ -функцию через ширину интервала обосновано тем, что в реальных условиях очень сложно подавать малую ширину интервала, поэтому ищется величина  $\Delta T$ , которую можно было бы подать на вход, и при которой полученная весовая функция была максимально приближена к истинному значению. Не смотря на то, что при задании  $\delta$ -

функции через высоту ступени получаются хорошие результаты, ширина интервала получается малой и невозможно технологически подать ее на вход.

После того как получена весовая функция, максимально приближенная к истинному значению, построим модель объекта, используя интеграл Дюамеля, и проверим ее работоспособность. Дискретная форма интеграла Дюамеля при нулевых начальных условиях имеет вид

$$x(t) = \sum_{i=1}^{t/\Delta\tau} h(t - \tau_i)u(\tau_i)\Delta\tau, \text{ где } h(t) \text{ – это весовая функция, } u(\tau) \text{ – входное}$$

воздействие,  $\Delta\tau$  – шаг дискретизации по времени,  $\tau_i = i\Delta\tau$  – значения времени дискретизации.

Исследуемый объект имеет вид:

$$x(t) = 1.67x(t-1) - 0.766x(t-2) + 0.638cu(t)$$

Смоделируем поведение объекта при входном воздействии, которое описывается функцией  $U(t) = 7.4e^{0.48t}$ .

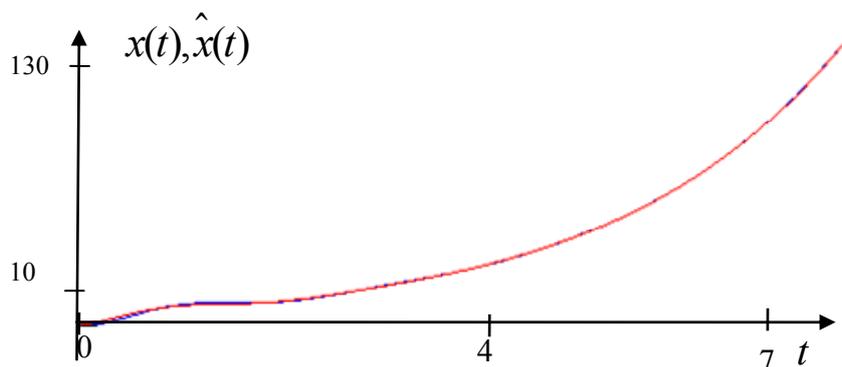


Рис. 4. Результат моделирования

При данном входном воздействии модель адекватна объекту. На рис. 4 представлены линии соответствующие линии объекта и модели, как видно, модель полностью повторяет поведение объекта. Величина относительной ошибки 0,011.

В условиях реального функционирования объекта невозможно подать  $\delta$ -функцию, так как она представляет собой бесконечный сигнал. При этом, если использовать аппроксимацию  $\delta$ -функции и подавать ее на вход объекта, то возможно снять весовую функцию. Построенные модели на основе снятой весовой характеристики могут быть адекватны процессу.



УДК 378,14

## SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF Nd<sup>3+</sup> IN ORTHORHOMBIC $\delta$ -BiB<sub>3</sub>O<sub>6</sub> CRYSTAL

**D.A. Ikonnikov**

**Scientific supervisor A.S. Aleksandrovsky**

**Language advisor O.P. Petrishcheva**

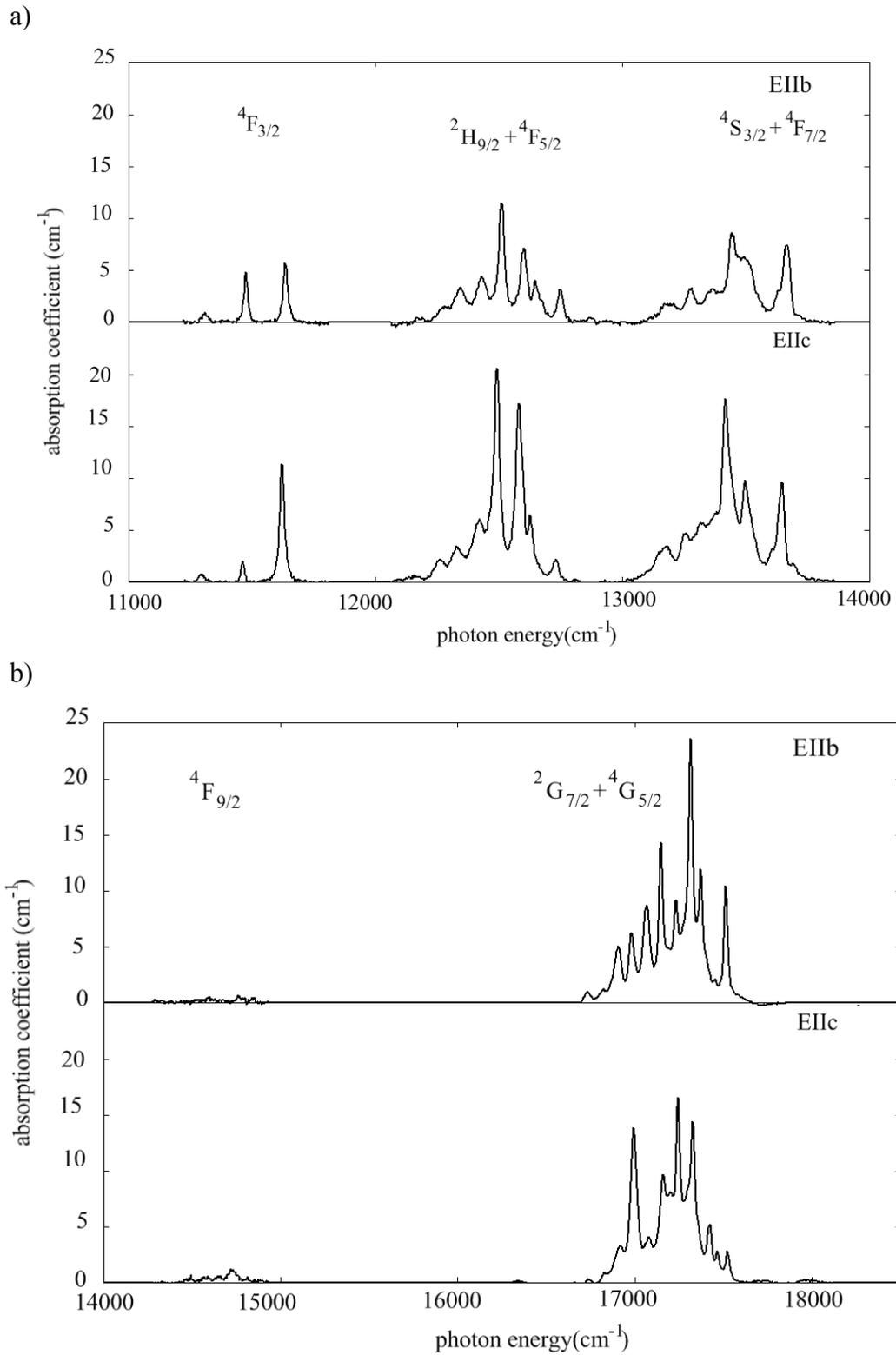
*Siberian Federal University*

В данной статье описывается метод анализа спектральных свойств иона неодима в дельта-триборате висмута, а также приводятся результаты этого анализа.

Monoclinic bismuth triborate  $\alpha$ -BiB<sub>3</sub>O<sub>6</sub> ( $\alpha$ -BiBO) is a very promising nonlinear crystal. The studies of doping monoclinic bismuth triborate with rare earths were done in order to obtain new laser materials, possibly self-doubling ones, for diode pumped lasers. But these studies revealed limited extent of doping that is insufficient for laser applications. Later, new polymorphs of bismuth triborate, including orthorhombic  $\delta$ -BiB<sub>3</sub>O<sub>6</sub> ( $\delta$ -BiBO) were discovered.  $\delta$ -BiBO has denser packing of crystal structure, but surprisingly we were able to obtain large Nd number density in this crystal. Later studies have shown that phase matching conditions in delta BiBO are favorable for frequency doubling of radiation in the region of 1.3 micron. Nd ions are expected to substitute Bi ions in the lattice, and the local environment of them in this case is expected to be rather intricate. Since optical properties of rare earth ions are determined by the symmetry of local environment, it is interesting to investigate them in this crystal.

For complete characterization of optical properties of Nd ion in orthorhombic lattice the absorption spectra are to be measured, with light polarization parallel to crystallographic axes a, b and c. Because of the dimensions of the crystal sample in our disposal, it became possible to measure only two components with the polarization parallel to b and c axes. These spectra are presented in the following graphs.

Besides, provisional observation of crystal structure suggests the hypothesis that the third component must not strongly differ from the two measured ones. So we have done the Judd-Ofelt analysis of spectra using only two components of absorption.



*Fig. 1. Polarized absorption spectra of  $f-f$  transitions in  $\text{Nd}^{3+}:\delta\text{-BiBO}$  single crystal at room temperature*

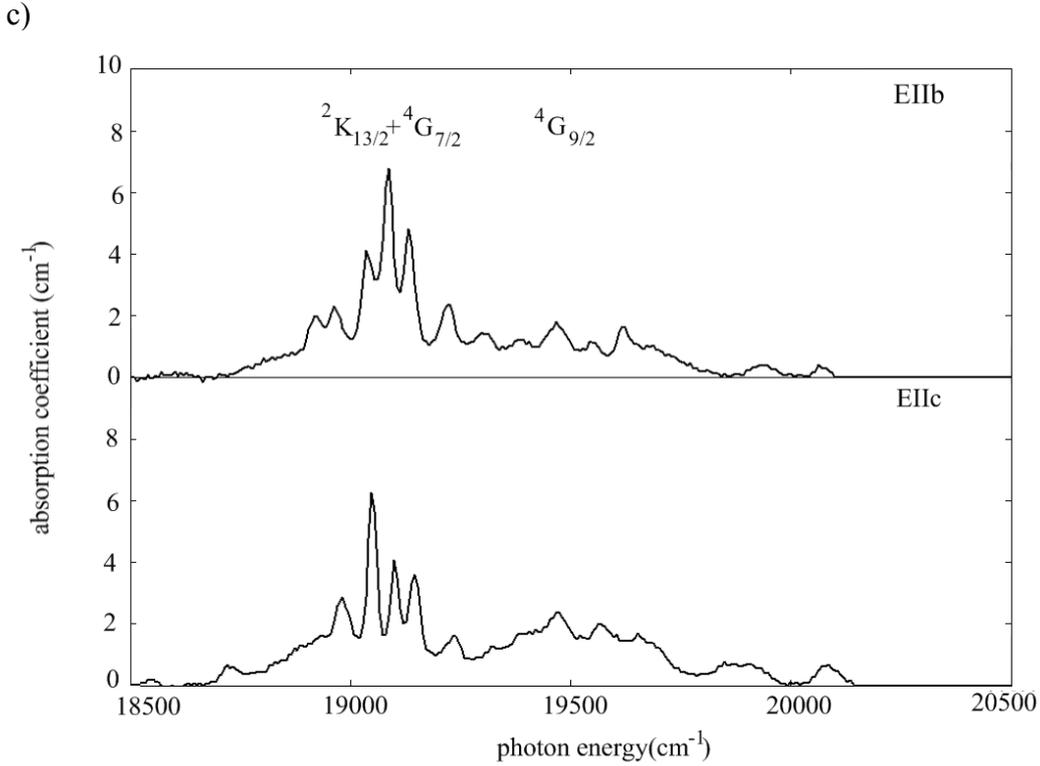


Fig. 1. Polarized absorption spectra of f-f transitions in  $Nd^{3+}:\delta\text{-BiBO}$  single crystal at room temperature

According to Judd Ofelt, the intensities of f-f transitions of an ion in a crystalline environment are connected with matrix elements of corresponding transitions in a free ion through three crystal field parameters  $\Omega_{2,4,6}$ . We have found Omega parameters from absorption spectra using common Judd-Ofelt procedure. This procedure involves integration over the absorption profiles within separate manifolds solution of an overdefined system of linear algebraic equations, as presented here in vectorial form.

$$s = A \Omega. \quad (1)$$

The values of Omega are presented in the table.

The accuracy of the analysis can be illustrated by delta parameter showing the discrepancy between calculated and measured line strengths. In our case delta equals to 8.4 percent (we consider it a good result, especially in view of incomplete set of measured spectra).

Using obtained values of Omega, one can find the probabilities of transitions from upper lasing level, as well as branching ratios that show relative intensity of different stimulated transitions. There are four ones in Nd ion that start from  ${}^4F_{3/2}$  level and terminate at  $I_{9/2}$ ,  $I_{11/2}$ ,  $I_{13/2}$  and  $I_{15/2}$  levels. These intensities depend only on  $\Omega_4$  and  $\Omega_6$ , so Kaminskii suggested introducing X factor being the ratio of them. Value of X in our crystal is 0.34, being the lowest value among the crystals cited in the table 3.

**Table 1.** Intensity parameters  $\Omega_\lambda$  ( $10^{-20}$  cm<sup>2</sup>), spectroscopic quality factors  $X = \Omega_4/\Omega_6$  and lifetimes  $\tau$  of the  $^4F_{3/2}$  state in different crystals.

Compound	$\Omega_2$	$\Omega_4$	$\Omega_6$	$X = \Omega_4/\Omega_6$	$\tau$ ( $\mu$ s)
$\delta$ -BiB <sub>3</sub> O <sub>6</sub> :Nd	6.898	3.921	11.495	0.341	517
Nd <sub>0.5</sub> Gd <sub>0.5</sub> Fe <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	4.4	8.04	8.25	0.97	496
NdAl <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	4.01	4.58	7.65	0.6	188
NdAl <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	6.07	9.14	14.58	0.627	98
Nd:YAl <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	3.09	5.04	3.11	1.62	302
Nd:GdAl <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	3.35	3.50	4.64	0.754	285
Nd:Gd <sub>0.2</sub> Y <sub>0.8</sub> Al <sub>3</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub>	2.71	2.68	5.22	0.51	294
Nd:Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	0.37	2.29	5.97	0.384	261
Nd:Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	0.2	2.7	5	0.54	259
Nd:YAIO <sub>3</sub>	1.3	4.7	5.7	0.82	157

Thus I dare to conclude that delta BiBO is the most favorable for lasing to I<sub>13/2</sub>, that is at 1.3 micron wavelength.

## References

- [1] V. Petrov, M. Ghotbi, O. Kokabee, A. Esteban-Martin, F. Noack, A. Gaydardzhiev, I. Nikolov, P. Tzankov, I. Buchvarov, K. Miyata, A. Majchrowski, I. V. Kityk, F. Rotermund, E. Michalski, and M. Ebrahim-Zadeh. *Laser & Photon. Rev.* **4** (2010) 53.
- [2] A. Brenier, I. Kityk, A. Majchrowski, *Optics Commun.*, **203**, 125, (2002).
- [3] P. Becker, C. Wickleder. *Cryst. Res. Technol.* **36**, 27 (2001)
- [4] A.I. Zaitsev, A.D. Vasiliev. *Proc. Symp. Order, disorder and properties of oxides ODPO-9*, Rostov-on-Don-Loo, Russia, (19-23 September 2006) 151,
- [5] J. S.Knyrim, P. Becker, D. Johrendt, and H. Huppertz. *Angew. Chem. Int. Ed.* **45** (2006) 8239.
- [6] A.S. Aleksandrovsky, A.D. Vasiliev, A.I. Zaitsev, A.V. Zamkov. *J. of Crystal Growth.* **310** (2008) 4027.
- [7] A.V. Cherepakhin A.I. Zaitsev, A.S. Aleksandrovsky, A.V. Zamkov, *Opt. Mater.* (2011), doi:10.1016/j.optmat.2011.11.004.
- [8] A. V. Malakhovskii, A. E. Sokolov, V. L. Temerov, L. N. Bezmaternykh, A. L. Sukhachev, V. A. Sereдкин, S. L. Gnatchenko, I. S. Kachur, V. G. Piryatinskaya, *Fiz. Tverd. Tela* **50** (2008) 1237 [*Phys. Solid State* **50** (2008) 1287].
- [9] I. I. Sobel'man, *Introduction to the Theory of Atomic Spectra* (Pergamon, Oxford, 1972; Nauka, Moscow, 1977).
- [10] A.V. Malakhovskii et al *J. Alloys and Compounds* 2012 (submitted)
- [11] X. Chen, Z. Luo, D. Jaque, J. J. Romero, J. Garcia Sole. *J. Phys.: Condens. Matter.* **13**, 1171 (2001).

- [12] W.F. Krupke. IEEE J. Quan. Elect. **QE-7**, 153 (1971).
- [13] B. R. Judd, Phys. Rev. **127**, 750 (1962).
- [14] G. S. Ofelt, J. Chem Phys. **37**, 511 (1962).
- [15] R. D. Peacock, The intensities of lanthanide *f-f* transitions, Structure and bonding, 22 (1975) 83-122.
- [16] W.T. Carnall, P.R. Fields, B.G. Wybourne, J. Chem. Phys. 42 (1965) 3797.
- [17] D. Jaque, J. Capmany, Z.D. Luo, S.J. Garcia, J. Phys.: Condens. Matter 9 (1997) 9715.
- [18] D. Jaque, O. Enguita, U. Caldiño G., M. O. Ramírez, and J. García Solé. J. Appl. Phys. **90**, 561 (2001).
- [19] X. Chen, Z. Luo, D. Jaque, J. J. Romero, J. Garcia Sole. J. Phys.: Condens. Matter. **13**, 1171 (2001).
- [20] Kaminskii A.A., Li L., Phys. Stat. Sol. (a), 1974, **26**, K21.
- [21] M.J. Weber, T.E. Varitimos, J. Appl. Phys. 42 (1971) 4996.
- [22] W.F. Krupke. IEEE Jour. Quan. Elect. **QE-10**, 450 (1974).
- [23] V. L. Ginzburg, *Theoretical Physics and Astrophysics* (Nauka, Moscow, 1975; Pergamon, Oxford, 1979).
- [24] A.A. Kaminskii, *Crystalline Lasers: Physical Processes and Operating Schemes* (CRS, New York, 1996).
- [25] A.A. Kaminskii, L. Li, Phys. Stat. Sol. (a) 26 (1974) 593.

УДК 535.8; 544.77.03

**OPTICAL PROPERTIES OF THE WAVEGUIDES IN THE FORM  
OF VARIOUS CONFIGURATIONS OF ARRAYS  
OF NANOPARTICLES, SYNTHESIZED ON THE  
ELECTROSTATICALLY FUNCTIONALIZED SUBSTRATE**

**I.L. Rasskazov**

**Scientific supervisor S.V. Karpov**

**Language advisor associate professor I.V. Alexseenco**

*Siberian federal university*

Optical properties of periodic structures consisting of gold and silver nanoparticles have attracted increasing interest due to their possible applications in optoelectronic devices. Such structures can be used for the resonant inductive transmission of energy of the plasmon excitation between the elements of nanosized computing devices, routers in nanoscale, in different types of nanosensors.

Such arrays of nanoparticles can be obtained by nanolithography. However, the least expensive way to obtain ordered structures, which doesn't require a local physical effects, based on the ability of nanoparticles to self-assembly in the process of random Brownian collisions in disperse systems with a liquid environment (hydrosol). In this system, the structural self-organization can be reached on the substrate. The particles must be adsorbed in a certain bounded region of the substrate, forming the required configuration of particles. It is important to emphasize that in this case, the waveguide consists of mono-rezonant nanoparticles of spherical shape. Selective adsorption of nanoparticles can be achieved in various ways of functionalization of substrate.

In our research we propose an electrostatic method of functionalization of the dielectric substrate, based on the using of metal nanopatterns located on the back side of the substrate on which an electric potential is applied.

Under certain conditions, we can observe the selective deposition of metal nanoparticles into one-dimensional ordered structure. We defined the parameters of this system and investigated its optical properties. It is shown, that we may synthesize only nonequidistant single-track chains of particles. In addition, we can use templates of different configurations (Fig. 1).

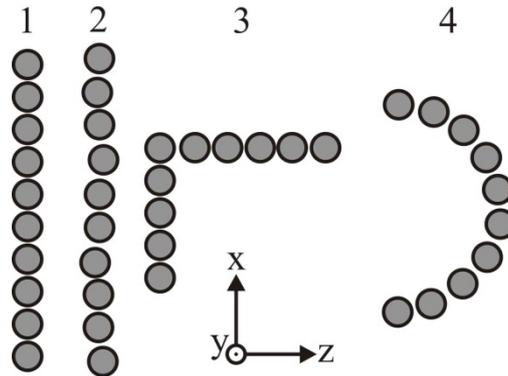


Fig. 1. Types of synthesized chains:  
1) ideal chain; 2) real chain; 3) corner chain; 4) semicircle chain

The aim of the study is to determine the suitability of such configurations for transmission of optical radiation on the nanoscale by comparing their optical properties with optical properties of the ideal single-track and equidistant chains.

Calculations of the precipitation process of nanoparticles from the hydrosol satisfied by Brownian dynamics. At every iteration step, for each particle equations of motion (1) are solved:

$$\begin{cases} \frac{d\mathbf{r}_i}{dt} = \mathbf{v}_i \\ m_i \frac{d\mathbf{v}_i}{dt} = \mathbf{F}_i - \mathbf{F}_f + \mathbf{F}_c + \mathbf{F}_p + \mathbf{F}_d \end{cases}, \quad (1)$$

where  $\mathbf{r}_i$ ,  $\mathbf{v}_i$ ,  $m_i$  – coordinate, velocity and mass of the particle;  $\mathbf{F}_i$  – resultant of the potential forces acting on particle (van der Waals and elastic interaction, gravity force);  $\mathbf{F}_c$  – stochastic hydrodynamic force;  $\mathbf{F}_f$  – viscous force;  $\mathbf{F}_p$  – force that describes interaction with nanopattern;  $\mathbf{F}_d$  – force that describes dipole-dipole interaction between particles. We use predictor-corrector method to solve equations of motion (1).

Calculations of extinction spectra of synthesized chains are performed by the coupled dipole method. This method allows to calculate the absorption spectra of aggregates of closely spaced particles according to their electrodynamic interaction (any particle of aggregate in external optical field is influenced not only the external field, but the fields which generated by dipole moments, induced on the remaining particles). This electrodynamic interaction is the dominant factor that determines the non-uniform broadening of the plasmon absorption spectra. We solve a system of equations (2) to determine the dipole moments induced on the particles and to obtain the spectral dependence of the imaginary part of the optical susceptibility of the aggregate, which is determined by the absorption cross section (3).

$$d_{i\alpha} = \chi_0 \left[ E_{\alpha}^{(0)} \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_{ij}) d_{j\beta} \right], \quad (2)$$

where  $d_{i\alpha}$  – dipole moment induced on the given particle;  $\chi_0$  – polarizability of the particles;  $E_{\alpha}^{(0)}$  – external optical field;  $\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j$ ;  $G_{\alpha\beta}(\mathbf{r}_{ij})$  – Green's tensor.

$$Q_e = \frac{\sigma_e}{N\pi R^2}, \quad (3)$$

where  $Q_e$  – extinction efficiency,  $\sigma_e$  – extinction cross-section,  $N$  – number of particles,  $R$  – radius of the particle.

We have calculated the extinction spectra of the synthesized chains of different configurations (Fig. 1) with different polarizations of the external optical field and for different values of interparticle gaps. In addition, we compared the spectra of synthesized chains with extinction spectra of ideal equidistant single-track chain. Chains, considered in this section, consist of  $N=10$  particles with  $R=8\text{nm}$  radius.

It is shown that the extinction spectra of real waveguide (Fig. 1(2)) slightly different from the extinction spectrum of an ideal chain (Fig. 2) in the case of longitudinal polarization of the external optical field (along the X axis). The extinction spectra of the real chain are shifted to shorter wavelengths, with increasing of the interparticle gap in the case of the same polarization of the external optical field. The extinction spectra of the ideal and real chains are almost

identical when the polarization of the external radiation is directed along the Y axis (Fig. 2).

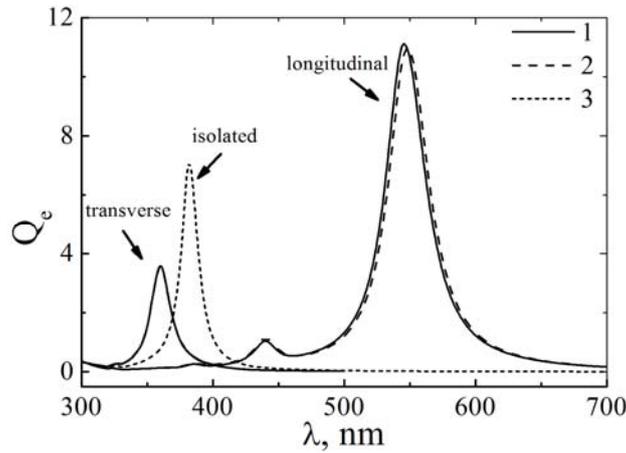


Fig. 2. Extinction spectra of different chains with different polarization of external optical field (transverse – along Y axis, longitudinal – along X axis).  
1) ideal chain; 2) real chain; 3) isolated particle

In addition, the extinction spectra of the corner chain (like the entire chain and its constituent parts, which are one-track chains directed along the axes X and Z) for different polarizations of the external optical field are calculated. It is shown that the extinction spectrum of the chain is the sum of the extinction spectra of its components when the polarization is directed along the X axis (Fig. 3). It is obvious that the transfer of plasmon excitation in the corner chain will be possible only if the polarization of the external radiation is directed orthogonally to the plane of the chain (along Y axis). In this case the maximum of the extinction of the whole chain and its constituent parts are practically identical (Fig. 3). Similar trend is also typical for the semicircle chain (data not shown).

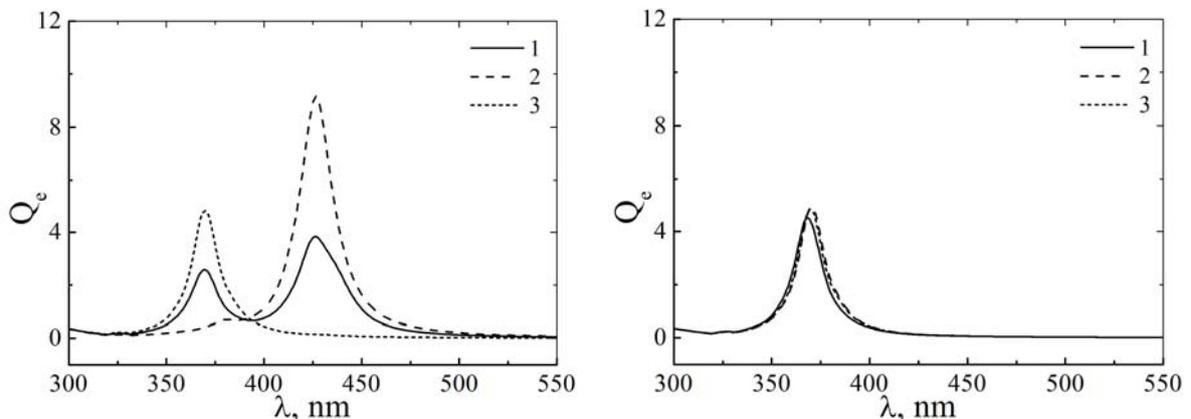


Fig. 3. Extinction spectra of the corner chain and its constituent parts for polarization directed along X axis (left) and Y axis (right).  
1) whole chain; 2) constituent part directed along X axis;  
3) constituent part directed along Y axis

We have considered the extinction spectra of optical waveguides of different configurations consisting of chains of nanoparticles. It is shown that the extinction spectra of the synthesized in the experiment nonequidistant chains slightly different from the extinction spectrum of an ideal chain. This property gives the opportunity to use such system of closely spaced metal nanoparticles for transmission of electromagnetic energy at the nanoscale distances.

УДК 620.3

## **НАНОПОРОШКИ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

**П.О. Суходаев**

**Научный руководитель В.Е. Редькин**

*Сибирский федеральный университет*

Алюминий по содержанию в земной коре (~ 8,8 %) является одним из самых распространенных металлов (для сравнения, железа в земной коре 4,65 % - в два раза меньше). Достоинствами алюминия и его сплавов являются: малая плотность (2,7 г/см<sup>3</sup>), сравнительно высокие прочностные характеристики, хорошая тепло- и электропроводность, технологичность, высокая коррозионная стойкость. Совокупность этих свойств позволяет отнести алюминий к числу важнейших технических материалов.

Алюминий и его сплавы широко применяются в аэрокосмической, судостроительной, электротехнической, строительной промышленности, транспортном машиностроении и других отраслях. Но алюминиевые сплавы, полученные традиционно применяемыми методами легирования, в значительной мере достигли своего предела конструктивной прочности. Вместе с тем развитие современной техники требует создания материалов, надежно работающих в сложной комбинации силовых и температурных полей, при воздействии агрессивных сред, излучений, глубокого вакуума и высоких давлений. Зачастую требования, предъявляемые к материалам, могут носить противоречивый характер.

Улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств сплавов на основе алюминия возможно за счет модифицирования их дисперсными частицами другой фазы. При этом особый интерес представляют наноразмерные частицы тугоплавких химических соединений, так как они обладают уникальными физико-химическими и механическими свойствами, существенно отличающимися от свойств материалов того же химиче-

ского состава в массивном состоянии, причем эти свойства могут в определенной степени передаваться получаемым из них или с их участием изделиям. Это связано с тем, что в нанометровом масштабе возникают качественно новые эффекты, свойства и процессы, определяемые законами квантовой механики, размерным квантованием в малых структурах, отношением поверхность/объем и другими явлениями и факторами.

Как известно, физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики металлоизделий зависят не только от химического состава сплавов, из которых их изготавливают, но и от степени измельчения структурных составляющих. Чем мельче структура, тем выше механические свойства металлоизделий. Наночастицы при модифицировании металлов способны измельчать их структуру, тем самым повышая механические характеристики: прочность, пластичность, твердость, износостойкость и др.

Влияние наночастиц тугоплавких химических соединений на механические свойства изделий из алюминиевых сплавов объясняется тем, что, с одной стороны, частицы препятствуют движению дислокаций в матрице (механизм упрочнения Орована – рис. 1), с другой стороны, при достаточном смачивании жидким алюминием частицы являются центрами кристаллизации и таким образом уменьшают размер кристаллического зерна металла, который влияет на предел текучести, согласно соотношению Холла-Петча:

$$\sigma_T = \sigma_i + k_i d_1^{-1/2},$$

где  $\sigma_i$  – внутреннее напряжение, учитывающее сопротивление движению дислокаций;  $k_i$  – коэффициент наклона в уравнении Петча, связывающий  $d_1$  и  $\sigma_T$ .

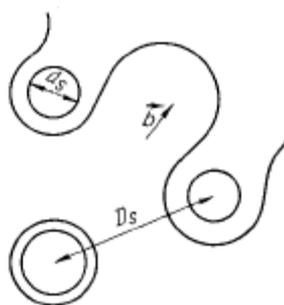


Рис. 1. Огибание частиц краевой дислокацией по механизму Орована

При жидкофазном методе модифицирования алюминия прямое введение нанопорошков в расплав чрезвычайно осложнено рядом причин: частицы легко компактируются, при незначительном нагреве в обычной атмосфере они интенсивно взаимодействуют с собственными, адсорбированными ими, газами, а также, несмотря на достаточно высокую плот-

ность, легко образуют в воздухе пылевидную взвесь. Десорбция растворенных газов при нагреве УДП в жидкой среде сопровождается процессом их молизации на межфазной границе, и частицы порошка за счет понтонного эффекта всплывают к поверхности расплава, окисляются и в дальнейшем не смачиваются. Поэтому необходима предварительная подготовка УДП перед введением в расплав, которая заключается в плакировании их поверхности металлическими пленками [1].

В работах [1] и [2] предложена технология введения модификаторов, заключающаяся в следующем: смесь фрагментированного алюминиевого сплава (гранулы, стружка, сечка) с нанопорошками помещается в алюминиевый контейнер и интенсивно перемешивается в барабане с эксцентричными осями, после этого контейнер выдавливается через отверстие матрицы с помощью гидравлического пресса (рис. 2). Таким образом, получается модифицирующий пруток, который помещается в расплав.

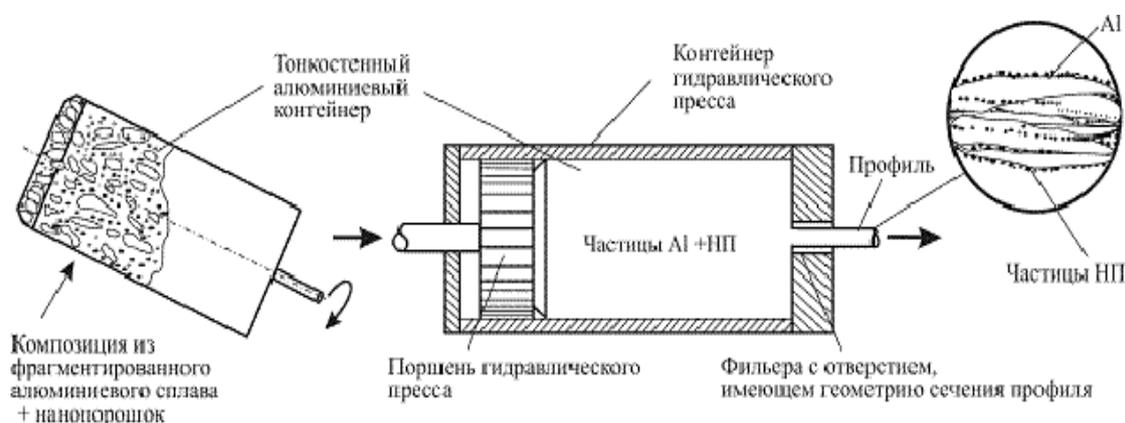


Рис. 2. Схема технологии изготовления модифицирующего прутка, содержащего наночастицы

В работе [1] по данной технологии был модифицирован различными ультрадисперсными порошками ряд литейных и деформируемых сплавов алюминия. При этом испытания механических свойств полученных образцов во всех случаях показали увеличение предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения при разрыве, и уменьшения размера зерна. Например для сплава Д16, модифицированного частицами SiC предел текучести повысился на 11 %, относительное удлинение – на 31,6 %, размер зерна уменьшился в 2 раза.

В данной работе вышеописанная технология модифицирования алюминиевых сплавов была приспособлена для лабораторных условий. В частности была спроектирована и изготовлена металлическая литейная форма для получения образцов, и пресс-форма с пуансоном для получения модифицирующих прутков (рис. 3). Пресс-форма и пуансон были изготовлены из стали 55, при этом был выбран следующий режим закалки – нагрев до 830°C и охлаждение в воде, обеспечивающий необходимую твер-

дость (52 ед. по шкале Роквелла). Для расплавления металла использовалась электрическая печь сопротивления СНОЛ-1,6.2,5.1/9-ИЗ [3].

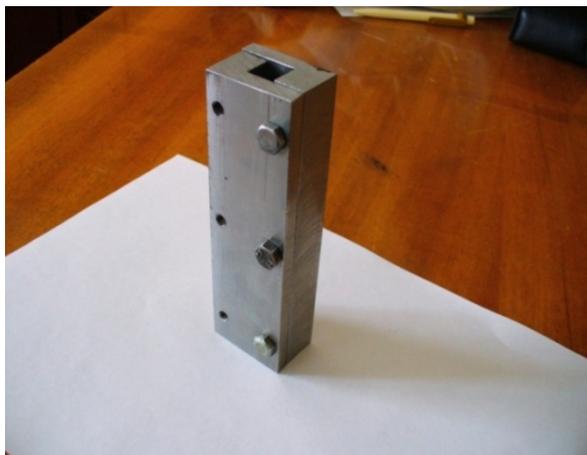


Рис. 3. Кокиль для литья призматических образцов слева и пресс-форма для изготовления модифицирующих прутков справа

На рис. 4 показан отлитый образец, модифицированный частицами оксида алюминия, полученными электровзрывным методом. Распределение частиц  $Al_2O_3$  по размерам показано на рис. 5.



Рис. 4. полученный образец



Рис. 5. Распределение по размерам частиц оксида алюминия электровзрывного синтеза, используемого в качестве модификатора

В будущем планируется получить образцы, модифицированные алмазграфитовой шихтой (ультрадисперсный алмазграфитовый порошок УДП-АГ), полученной детонацией взрывчатых веществ во взрывной камере [4,5], и выделенными из нее наноалмазами (ультрадисперсные алмазы – УДА). Наноалмазы являются перспективным модификатором, так как имеют низкий средний размер частиц и обладают высокой прочностью.

Для улучшения смачиваемости УДА расплавом алюминия возможно нанесение на порошок наноалмазов металлических покрытий.

При модифицировании алюминия частицами УДА ожидается увеличение прочности, пластичности и твердости полученных композиционных материалов по сравнению с базовыми сплавами.

### **Список литературы**

1. Сабуров, В. П. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В.П. Сабуров [и др.] // Низкотемпературная плазма. Т. 12 – Новосибирск: Наука, 1995. – 344 с.

2. Крушенко Г.Г. Применение нанопорошков химических соединений для улучшения качества металлоизделий / Г.Г. Крушенко // Технология машиностроения.- 2002.- № 3. - С. 3-6.

3. Суходаев П.О. Композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные наночастицами / П.О. Суходаев, В.А. Ардамин // Материалы XXIII Междуна-родной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и сту-дентов (МИКМУС - 2011). – М., 14-17 декабря 2011 г.. / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2011. – 289 с.

4. Ультрадисперсные алмазные порошки, полученные с использованием энергии взрыва / А. М. Ставер, Н. В. Губарева, А. И. Лямкин, Е. А. Петров // Физика го-рения и взрыва – 1984. – Т. 20, № 5.

5. Ультрадисперсные порошки, наноструктуры, материалы: получение, свойства, применение. IV Ставеровские чтения: Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 28-29 сентября 2006 г., Красноярск / Под ред. В.Е. Редькина, С.А. Подлесного. – Красноярск, ИПЦ КГТУ, 2006. – 362 с.

УДК 546.831:541.64:532.135

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БАКТЕРИАЛЬНОГО ФЕРРИГИДРИТА**

**О.В. Цибина**

**Научный руководитель Ю.Л. Гуревич**

*Сибирский федеральный университет*

Оксиды трехвалентного железа известны как эффективные адсорбенты тяжелых металлов. В почвах и грунтах они часто представлены рентгеноаморфным ферригидритом (нанокристалл с плохо упорядоченной структурой), гетитом ( $\alpha$ -FeOOH) и гематитом ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и др.. Сорбционная емкость гидроксидов и оксидов зависит от их удельной поверхности. В поч-

вах наноразмерные минеральные соединения железа вида  $-\text{FeOОН}$  имеют в среднем  $60 \text{ м}^2/\text{г}$  твердой фазы. Вероятно, это обусловлено их агрегированием. Наибольшая удельная площадь поверхности у ферригидрита, который имеет наименее упорядоченную кристаллическую структуру. По данным авторов ряда исследований ферригидрит, полученный в лабораторных условиях химическим методом осаждения из растворов, имеет удельную площадь поверхности частиц до  $600 \text{ м}^2$ . Соответственно, синтетические частицы гидроксида железа - ферригидрита должны иметь повышенную сорбционную емкость.

По составу ферригидрит не имеет общепринятой формулы. Теоретически его формулу можно записать как  $2,5 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ FeOОН} \cdot 2,6 \text{ H}_2\text{O}$ . В зависимости от степени упорядоченности кристаллической структуры ферригидрита изменяется соотношение химически связанной и несвязанной воды. Степень упорядоченности структуры, в свою очередь, зависит от условий преципитации ионов трехвалентного железа и образования наночастиц. Образование гидроксидов и оксидов железа при участии микроорганизмов идет в условиях, которые существенно отличаются от тех, что имеют место при получении их различными физико-химическими методами.

Цель настоящей работы состояла в определении сорбционных свойств бактериального гидроксида железа на примере сорбции ионов меди.

Для эксперимента были приготовлены растворы сульфата меди с концентрацией в интервале от  $10^{-7}$  до  $10^{-1}$  моль/л. Гидроксид железа (ферригидрит) в концентрации от 60 до 120 мг/л вносили в растворы сульфата меди с известной концентрацией. Конечную концентрацию ионов меди определяли после удаления сорбента центрифугированием в течение 25 мин. Сорбционную емкость определяли расчетом количества сорбированных ионов в мг на мг наночастиц ферригидрита.

Концентрации ионов меди в растворах определяли с помощью ионо-селективного электрода ЭЛИС-131 Cu (ЭК-19.01.01) на приборе «Мульти-тест ИПЛ 513» и подтверждали в ряде экспериментов измерениями на атомно-абсорбционном спектрофотометре АAnalyst 400. Эксперименты проводились при нейтральном рН, диапазон температур в пределах  $15 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В качестве сорбента использовали бактериальный гидроксид железа, получаемый в культуре бактерий *Delftia tsuruhatensis*. Бактерии выращивали на синтетической минеральной среде с цитратом железа в реакторе с аэрацией воздухом и механическим перемешиванием.

По данным рентгенофазового анализа преципитат культуры бактерий, очищенный от бактерий и внеклеточного матрикса, представлял собой ферригидрит с узким диапазоном распределения наночастиц по размерам. Дисперсные характеристики бактериального гидроксида железа были оп-

ределены методом малоуглового рентгеновского рассеяния. Доля наночастиц с радиусом в пределах 2 - 4 нм составляла 80 – 90 % .

Для эксперимента были приготовлены четыре варианта сорбента по различным вариантам методики выделения частиц ферригидрита из культуры бактерий. В различных вариантах приготовления сорбента получают образцы с различными концентрациями ферригидрита. Наночастицы ферригидрита железа вносили в раствор сульфата меди с концентрацией 274 мг/л.

Результаты определения адсорбции ионов меди бактериальным ферригидритом (через 30-40 мин.) представлены на рис. 1. Испытывали 4 образца, полученные при модификации методики выделения наночастиц (тип А (подтипы А1 и А2), и тип Б (подтипы Б1 и Б2)).

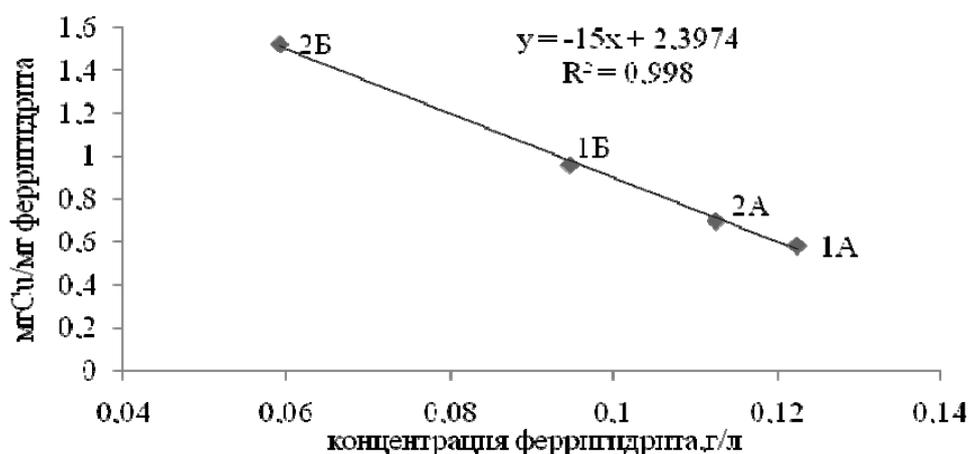


Рис.1. Зависимость адсорбции ионов меди от концентрации гидроксида железа

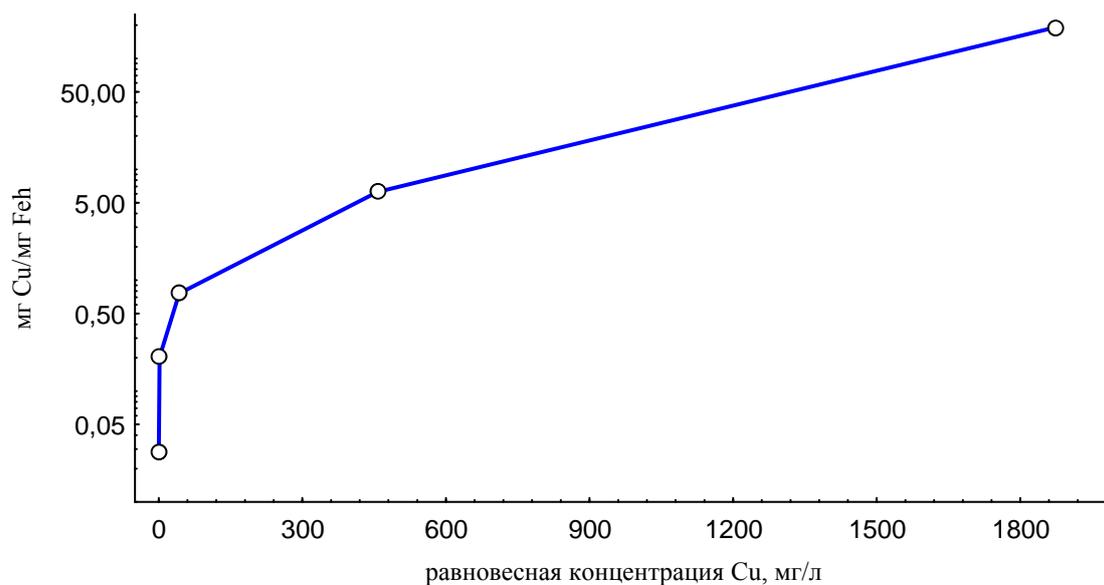
Из рис. 1 видно, что адсорбция существенно зависит от условий выделения наноматериала. Причем образцы получаемые по варианту модификации, А имеют существенно меньшую сорбционную емкость, чем образцы варианта Б. В таком же порядке изменений сорбционной емкости находятся подтипы 1 и 2. Абсолютные значения адсорбции ионов меди показаны в табл.1.

Несмотря на существенные отличия, абсолютные значения удельной адсорбции ионов меди для всех вариантов очень большие. Изотерма адсорбции имеет вид, показанный на рис. 2, и описывается уравнением Фрейндлиха.

Сорбционная емкость бактериального ферригидрита достигает значений порядка 50 г Cu/г ферригидрита. Полученная оценка намного превышает данные, известные из работ ряда авторов и равные 32 - 35 mg/1 г, ферригидрита, полученного физико-химическим методом осаждения из раствора.

**Таблица 1.** Сорбция ионов меди наночастицами бактериального ферригидрита

Образец сорбента	Сорбционная емкость, мг Cu/мг Fe	Концентрация Fe, г/л
1А	0,583	0,122366
2А	0,698	0,112473
1Б	0,959	0,094624
2Б	1,521	0,05914



*Рис. 2. Изотерма адсорбции меди на гидроксиде железа*

В литературе отмечается, что сорбция на органоминеральные комплексы гидроксидов железа выше, чем на ферригидрит. Причем сорбция тем выше, чем больше содержание органического углерода. Испытуемый бактериальный ферригидрит отличается тем, что на его поверхности присутствуют элементы от биоматрикса, в котором происходило его образование. Кроме того, можно предполагать, что столь большая емкость обусловлена взаимодействием адсорбированных ионов меди с гидроксидом железа.

В целом экспериментальный анализ адсорбции ионов меди показал, что бактериальный ферригидрит имеет исключительно большую сорбционную емкость, которая зависит от условия его выделения. Определение формы нахождения сорбированной меди и объяснение исключительно большой сорбционной емкости биогенного гидроксида железа являются предметом дальнейших исследований.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-08-01278-а. Авторы благодарят за помощь в проведении экспериментов и ценные замечания М.И. Теремову, Ф.В. Тузикова и Г.Н. Бондаренко.*

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ. УСПЕХИ НАУЧНОЙ МОЛОДЕЖИ

---

УДК 597

## БИОЛОГИЯ ГОЛЬЯНА ОБЫКНОВЕННОГО *PHOXINUS PHOXINUS* (СЕМ.СYPRINIDAE) ОЗ. ОЙСКОГО (ЗАПАДНЫЙ САЯН)

С.А. Коваленко

Научный руководитель И.В. Зуев  
Сибирский федеральный университет

Современная степень изученности ихтиофауны водных объектов природного парка «Ергаки» мала и основывается на ограниченном числе работ [1]. В состав ихтиофауны этого района обычно включают виды рыб, характерные для бассейна верхнего Енисея (гольян обыкновенный, хариус, голец сибирский, каменная широколобка), однако детальные сведения об особенностях их распределения, экологии, фенологии отсутствуют.

С 2008 г. научным коллективом кафедры водных и наземных экосистем СФУ и Института биофизики СО РАН проводятся комплексные гидробиологические и ихтиологические исследования на водоемах парка. Оценивается воздействие на экосистемы озер рекреационной нагрузки и возможное влияние глобального изменения климата. Считается, что горные холодноводные озера особенно чувствительны к потеплению климата в связи с уменьшением альбедо и увеличением теплопоглощения из-за уменьшения снегового и ледового покрытия. Потепление может привести к замене холодолюбивых видов теплолюбивыми, изменению структуры и функционирования всей экосистемы [1].

Полигоном для ихтиологических исследований выбрано оз. Ойское как одно из немногих рыбных озер парка. Ихтиофауна озера представлена ранее описанными хариусом сибирским, гольцом сибирским и гольяном обыкновенным. Гольян обыкновенный *Phoxinus phoxinus* L. 1758 является наиболее массовым видом, и именно поэтому выбран как объект для данного исследования.

Целью работы является изучение некоторых особенностей биологии голяна обыкновенного оз. Ойского: анализ размерно-половой структуры популяции; анализ плодовитости и анализ питания.

### **Материалы и методы**

Сбор ихтиологического материала осуществлялся на оз. Ойском в два экспедиционных периода, которые проходили 15-26 июня и 6-18 августа 2011 г. Отлов рыб производился в литоральной зоне озера и в ручье, втекающем в озеро. Орудием лова служили бутылочные ловушки. Весь собранный материал фиксировался 4%-ным раствором формальдегида, обработка собранного материала производилась в лабораторных условиях в соответствии с общепринятыми методами [4;5]. Объем собранного материала в июне составил – 63 экз., в августе – 30 экз. Анализ размерно-половой структуры исследован у 63 экз. в июне и у 22 экз. в августе. Анализ питания в июне у 63 экз., в августе у 22 экз. Плодовитость оценена по 27 самкам, пойманым в июне.

### **Результаты и обсуждение**

В результате проведенных исследований отмечено, что в течение летнего периода голян массово встречается в литоральной зоне озера. 16 июня 2011 г. нами отмечена нерестовая миграция голяна в ручьи, впадающие в северную часть озера. При этом основу мигрантов составляли самцы в соотношении 1:2. Они в этот период имели ярко выраженный «брачный наряд», а у самок при легком надавливании на брюшко выделялась икра (4-5 стадия созревания гонад). Известно, что 3 июня на озере Ойском еще стоял лед. Из результатов исследований, проведенных на схожих высокогорных водоемах Норвегии, было установлено, что начало нереста голяна начинается сразу после схода льда [2]. Вероятно, что во всех этих случаях старт нерестовой миграции задавался не температурным фактором, а увеличением освещенности толщи воды.

Абсолютная длина тела отловленных рыб варьировала за июнь от 63-105 мм, в среднем  $87,0 \pm 0,1$ ; за август от 82-95 мм, в среднем  $8,9 \pm 0,1$ ; масса тела – за июнь от 2,5-11 г., в среднем  $6,8 \pm 0,2$ ; за август от 5,4-8,9 г., в среднем  $7,0 \pm 0,2$ . Основу выборки рыб за июнь и август составляли 8-9-ти сантиметровые особи, при этом основная масса самок имела в среднем большие размеры тела, чем самцы (рис. 1). Это может быть связано с отсутствием самцов старших возрастных групп [3].

Анализ размерной структуры популяции голяна обыкновенного в оз. Ойском показывает, что показатели абсолютной длины и массы тела не выходят за пределы, отмечаемые для данного вида голянов. Из имеющихся данных максимальные размеры и масса речного голяна может достигать 110-120 мм и 30 г, но чаще не превышает 80-90 мм и 10 г [3].

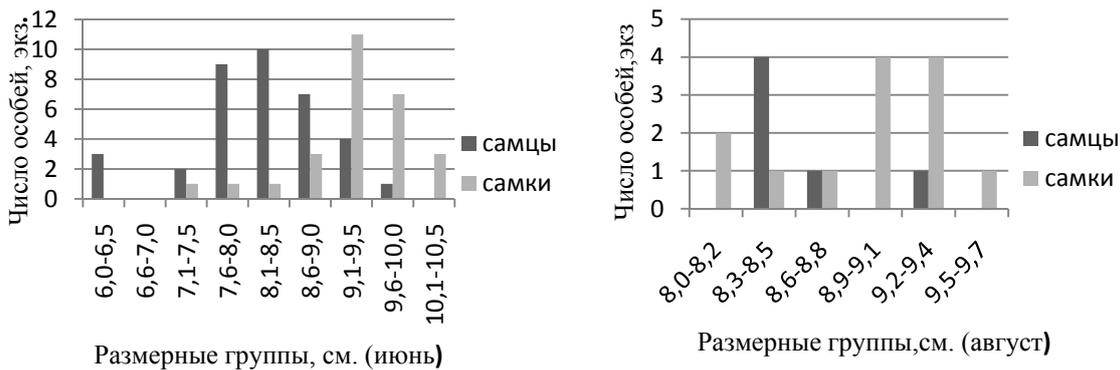


Рис. 1. Распределение отловленных рыб по абсолютной длине тела (в см.)

Общее соотношение полов за июнь близко к 1:2, с преобладанием самцов, за август 1:1 с небольшим преобладанием самок. Отлов в июне и августе производился в ручье, втекающем в озеро и в литоральной зоне озера.

Анализ регистрирующих структур исследованных голянов показал, что чешуя и жаберные крышки не пригодны для определения возраста. На жаберных крышках большинства особей хорошо видны 4-5 наружных кольца; внутренние сильно наслаиваются друг на друга и неразличимы.

В целом предельный возраст обыкновенного голяна составляет 5 – 6 лет [6; 7; 8;9]. В исследованиях озерных популяций обыкновенного голяна показано, что его возраст может достигать 9-10 лет, и даже 16 [2;3]. Мы предполагаем, что голян в оз. Ойском также может достигать такого возраста. Очевидно, озерные популяции речного голяна растут медленнее, но достигают большего предельного возраста. Это может быть связано с высокой конкуренцией между голянами за кормовые ресурсы и высокой годовой смертностью[2].

Пищевой спектр голяна в пробах за 2011 г. представлен шестью компонентами за июнь, за август – пятью. Наиболее часто в пробах за июнь встречаются мальки голянов и *Chironomidae*, в пробах за август *Diptera* (водные), *Hymenoptera* (водные) (табл. 1).

Количество пустых желудочно-кишечных трактов в июне составило 30,15 %. Степень наполнения желудочно-кишечных трактов колебалось от 0-2 баллов.

Пустых желудочно-кишечных трактов встречено не было. Степень наполнения желудочно-кишечных трактов колебалось от 2 –4 баллов.

Зообентос оз. Ойского представлен личинками хирономид, личинками ручейников, олигохетами, поденками, веснянками, мокрецами, пиявками, амфиподами, двустворчатыми моллюсками [1].

В других водоемах (Якутия, бассейн р. Токко) во взрослом состоянии речной голян питается преимущественно придонными организмами,

*Ephemeroptera*, *Coleoptera*, *Trichoptera*, *Plecoptera*, *Diptera*, *Simulium*, двустворчатыми моллюсками, икрой рыб, личинками веснянок [6]. В оз. Леприндокан (бассейн р. Куанды) питание представлено: полужесткокрылыми (сем. *Pentatomidae*), перепончатокрылыми (сем. *Formicidae* и *Ichneumonidae*). Воздушно-наземные беспозвоночные представлены пауками, муравьями и наездниками [3].

**Таблица 1.** Частота встречаемости компонентов питания гольяна в июне и августе 2011

Компонент	Частота встречаемости, в %	
	Июнь	Август
<i>Chironomidae</i>	4,7	-
<i>Diptera</i>	-	20
<i>Coleoptera</i> (водные)	3,17	5
<i>Trichoptera</i> (ручейники)	1,58	10
моллюски (двустворчатые)	1,58	5
мальки гольяна	15,8	-

Существенных отличий в питании гольяна речного оз. Ойского от питания гольяна речного других водоемов не найдено, однако в питании гольяна других водоемов не был отмечен факт поедания собственной молоди, т.е. проявление каннибализма. Степень наполнения желудочно-кишечных трактов говорит о том, что в июне в период нереста гольяны практически не питаются.

В оз. Ойском гольян обыкновенный становится половозрелым при длине тела 74 мм и массе 3,9 г. В июне гонады гольяна обыкновенного были на IV-V стадии созревания, имели желто-оранжевый цвет, икринки просчитывались хорошо. Абсолютная плодовитость колеблется от 504 до 1016 икринок, в среднем  $761 \pm 33$ , относительная от 49 до 116, в среднем  $81 \pm 4$ .

В августе посчитать плодовитость не удалось, так как гонады представляли собой бело-желтую массу, где часть икринок просматривалась хорошо, а часть еще не сформировалась.

Гольян обыкновенный в благоприятных условиях обитания становится половозрелым в возрасте двух лет, иногда в возрасте одного года при длине 40–60 мм и массе 2–3 г [3;6]. В водоемах с неблагоприятными условиями обитания половозрелыми гольяны становятся позже, в 3–4-годовалом возрасте при достижении сходных линейных размеров (50–60 мм), и 7-8-годовалом возрасте [2]. Нерестится с апреля по июль [9]. Плодовитость речного гольяна колеблется в разных водоемах, в бассейне Волги от 700-1000 [9]. В оз. Леприндокан (бассейн р. Куанды) изменялась от

375 до 807 икринок и в среднем была равна 503 икринкам, в оз. Ирбо (бассейн р. Мамакан) этот показатель изменялся от 504 до 1218 икринок и в среднем был равен 795 икринкам [3]. Полученные нами величины плодовитости от 504 до 1016 икринок, в среднем  $761 \pm 33$ , превосходят данные, приводимые для рыб этого вида из оз. Леприндокан, но ниже таковых у гольяна из оз. Ирбо.

*Исследования ихтиофауны природного парка осуществлены при поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», № 16. 740. 11. 0484.*

### **Список литературы**

1. Глущенко, Л. А. Гидробиологический очерк некоторых озер горного хребта Ергаки (Западный Саян) [Текст] / Л. А. Глущенко, О. П. Дубовская, Е. А. Иванова и [др.]. – Красноярск: Изд-во СФУ №3, 2009. – С. 355 – 378.
2. Museth J. Introduction of the European minnow into a subalpine lake: habitat use and long-term changes in population dynamics [Text] / J. Museth, R. Borgstrom, J. E. Brittain [et al.] // Journal of Fish Biology. – 2002. №60. P. 1308 – 1321.
3. Биология речного гольяна в водоемах верхнего течения реки Лены [Текст] / Р. С. Андреев, А. Л. Юрьев, А. И. Вокин, И. В. Самусёнок. – Иркутск: Известия ИГУ Т. 3, № 1, 2010. – С. 42–48.
4. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб [Текст]: / И. Ф. Правдин. – М.: Пищ. Пром-ть. 1996. – 376 с.
5. Практикум по ихтиологии: учеб. пособие / А. А. Вышегородцев, Г. Н. Скопцова, С. М. Чупров, И. В. Зуев; Краснояр. гос. ун-т. – Красноярск, 2002. – 127 с.
6. Кириллов Ф. Н. Рыбы Якутии [Текст]: / Ф. Н. Кириллов. – М.: Наука, 1972. – С.250-252.
7. Стариков П.С. К биологии обыкновенного гольяна Большой реки / П.С. Стариков, И.Г. Топорков // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского севера. – Петрозаводск: Наука, 1980. – С.102-106.
8. Зуев И. В. Гольяны рода *Phoxinus* (сем. Cyprinidae) бассейнов рек Енисея и Пясины: автореф. дис. ... канд. биол. наук / И. В. Зуев. – Томск, 2007. – 169 с.
9. Берг Л.С. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран / Л.С. Берг. – Л.: Изд-во ВООиРРХ, 1932. – Ч.2. – С. 588 – 590.

**ФЛОРА ГОРОДА АБАЗА (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)****М.М. Крылова****Научный руководитель И.П. Филиппова***Сибирский федеральный университет*

Материал для данного исследования был собран летом 2010 г. в городе Абаза. Территория города Абаза находится на юге Республики Хакасия, в 179 км от города Абакана. Территория города располагается в межгорной котловине, в верхнем течении реки Абакан. Леса городской зоны подвергаются интенсивному антропогенному воздействию (выпас скота, рекреационная нагрузка, различного рода загрязнения). Изучение флоры данной территории необходимо для своевременной диагностики её состояния, для разработки рекомендаций по охране, составлению списков редких видов растений, для поиска сохранившихся участков первичной растительности, нуждающихся в охране с целью их дальнейшего включения в систему охраняемых природных объектов.

Полевые исследования флоры г. Абаза включали в себя сбор гербарного материала при помощи маршрутного метода, который представляет собой ряд экскурсий, распределенных равномерно по всей территории исследования с таким расчетом, чтобы охватить все типы сообществ данной территории. Гербарные образцы собирали по стандартной методике.

На данном этапе в исследуемом районе выделено 206 видов сосудистых растений, которые относятся к 43 семействам и 127 родам.

Наибольшее видовое разнообразие имеют 11 семейств. Наиболее многовидовыми являются семейства: *Rosaceae* (29 видов), *Asteraceae* (26), *Fabaceae* (13), *Lamiaceae* (13), а также *Poaceae* (12) и *Caryophyllaceae* (11). Также 11 семейств включают лишь по одному виду, что в сумме составляет 5,3 % от всего видового состава.

Проведенный ареалогический анализ показал, что широко представлены виды с глобальным распространением (евразийские, голарктические и космополитные), они составляют 52,9 % флоры (109 видов). Космополитная группа представлена в основном широко распространенными сорными видами, занимающими ниши, свободные от конкуренции. Преобладание группы видов с широким типом ареала объясняется давлением зонального лесостепного окружения флоры Кузнецкой котловины, состоящей из видов, обычных для евразийской лесной и евразийской степной областей. Евросибирские виды занимают вторую позицию – 23,3 % флоры (48 видов). Азиатская группа составляет 16,5 % флоры (34 вида). Наименьшее значение имеют американско-азиатская, монголо-даурская и монголо-сибирская группы, занимающие всего по 0,5 % (по 1 виду).

**Таблица 1.** Ведущие семейства цветковых растений (по количеству видов) флоры г. Абаза

Ранг	Семейство	Число видов	
		абсолютное	% от всей флоры
1	<i>Rosaceae</i>	40	19,4
2	<i>Asteraceae</i>	26	12,6
3-4	<i>Fabaceae</i>	13	6,3
3-4	<i>Lamiaceae</i>	13	6,3
5	<i>Poaceae</i>	12	5,8
6	<i>Caryophyllaceae</i>	11	5,3
7-8	<i>Ranunculaceae</i>	7	3,4
7-8	<i>Scrophulariaceae</i>	7	3,4
9	<i>Boraginaceae</i>	6	2,91
10-11	<i>Pinaceae</i>	5	2,43
10-11	<i>Apiaceae</i>	5	2,43

**Таблица 2.** Ареалогический анализ флоры г. Абаза

№	Тип ареала	Число видов	
		абсолютное	в процентах
1	Евразиатский	57	27,7
2	Евросибирский	48	23,3
3	Голарктический	36	17,5
4	Североазиатский	26	12,6
5	Космополитный	16	7,8
6	Южно-сибирский	11	5,3
7	Восточно-азиатский	5	2,4
8	Центрально-азиатский	2	1,0
9	Азиатско-американский	1	0,5
10	Монголо-даурский	1	0,5
11	Среднеазиатский	1	0,5
12	Западно-саянский	1	0,5
13	Монголо-сибирский	1	0,5

На территории района исследования отмечены эндемичные виды, представленные южно-сибирской группой: *Brunnera sibirica* Stev., *Gypsophila altissima* L., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Euphorbia jenisseiensis* Baikov, *Oxytropis strobilacea* Bunge., *Anagallidium dichotomum* (L.) Griseb., *Aquilegia glandulosa* Fisch. ex Link., *Cimicifuga foetida* L., *Potentilla elegantissima* Polozh., *Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht., *Cruciata krylovii* (Hjin) Pobed.; а также Западно-Саянский эндемик *Veronica taigischensis* Stepanov.

Из проведенного анализа поясено-зональных групп, видно, что наибольшую роль во флоре играют виды светлохвойно-лесной поясности

(32 % от всей флоры). Это подтверждает лесной, бореальный характер флоры, ведь большая часть района исследования занята светлохвойными формациями. Немалую долю (19,4 %) составляют растения лесостепной поясной-зональной группы. Следующая по количеству видов (7,3 %) идет неморальная поясной-зональная группа. Неморальные элементы сохранились со времени третичного периода. Такое же количество составляют виды темнохвойной лесной поясности и луговой поясности. Во флоре г. Абаза, что вполне ожидаемо, присутствуют также рудеральные (6,8 %) и сегетальные (2,9 %) виды, которые являются индикаторами сообществ, испытывающих антропогенную нагрузку: *Trifolium pratense* L., *Trifolium repense* L., *Plantago media* L., *Potentilla anserina* L., *Plantago major* L., *Carum carvi* L., *Medicago falcata* L., *Poa pratensis* L. и др.

Степные виды составили 6,3 %, горно-степные – 5,3 %. Прирусовая флора заняла 1,9 %, и в небольших количествах была найдена гипаркто-монтанная и водно-болотная флора. Растения альпийского и монтанного поясной-зональных групп представлены одним видом каждый.

**Таблица 3.** Поясно-зональные группы растений флоры г. Абаза

№	Поясно-зональные группы	Число видов	
		абсолютное	в процентах
1	Светлохвойная	66	32
2	Лесостепная	40	19,4
3	Неморальная	15	7,3
4	Темнохвойная	15	7,3
5	Луговая	15	7,3
6	Адвентивно-рудеральная	14	6,8
7	Степная	13	6,3
8	Горно-степная	11	5,3
9	Адвентивно-сегетальная	6	2,9
10	Прирусовая	4	1,9
11	Гипаркто-монтанная	3	1,5
12	Водно-болотная	2	1
13	Альпийская	1	0,5
14	Монтанная	1	0,5

Среди экологических групп по отношению к воде мезофиты занимают основное положение – 53,9 % (111 видов). Представители мезоксерофитов также многочисленны – 27,2 % (56 видов). Ксерофиты и мезогигрофиты по 10,7 % и 5,8 % соответственно. Всего лишь несколькими видами представлены гигрофиты – 3 (1,5 %) и мезопсихрофиты – 2 (1 %). Это указывает на то, что для большей части территории характерна средняя увлажненность.

Преобладающей жизненной формой оказались гемикриптофиты – 52,4 % (108 видов). Криптофиты также многочисленны – 19,9 % флоры (41 вид). Гемитерофиты и терофиты составили по 7,8 % (16 видов). Меньшую долю составили фанерофиты – 4,9 % (10 видов), нанофанерофиты – 3,9 % (8 видов) и хамерофиты – 3,4 % (7 видов).

**Таблица 4.** Экологические группы растений флоры г. Абаза

№	Экологические группы	Число видов	
		абсолютное	в процентах
1	Мезофиты	111	53,9
2	Мезоксерофиты	56	27,2
3	Ксерофиты	22	10,7
4	Мезогигрофиты	12	5,8
5	Гигрофиты	3	1,5
6	Мезопсихрофиты	2	1,0

**Таблица 5.** Соотношение жизненных форм растений (по Раункиеру) во флоре г. Абаза

№	Жизненные формы (по Раункиеру)	Число видов	
		абсолютное	в процентах
1	Гемикриптофиты	108	52,4
2	Криптофиты	41	19,9
3	Гемитерофиты	16	7,8
4	Терофиты	16	7,8
5	Фанерофиты	10	4,9
6	Нанофанерофиты	8	3,9
7	Хамефиты	7	3,4

На изучаемой территории были обнаружены виды, подлежащие особой охране. Это виды, сокращающие численность популяции, или очень редкие. Шесть видов на обследованной территории занесены в Красную книгу России [2008]: *Cypripedium calceolus* L., *Cypripedium macranthon* Sw., *Dentaria sibirica* (O.E. Schulz) N. Busch, *Erythronium sibiricum* (Fisch. & S.A. Mey.) Krylov, *Neottianthe cucullata* (L.) Schlechter., кроме того, еще два вида занесены в Красную книгу Республики Хакасия [2002]: *Circaea lutetiana* L., *Cypripedium guttatum* Sw.

Поясно-зональная структура флоры сохраняет характер, близкий к естественному, разделяясь на две основные группы: светлохвойную и лесостепную. Отмечено 12 видов эндемиков. Занесенных в Красные книги различного уровня – 7 видов. Наличие эндемиков и редких видов говорит о слабой нарушенности флоры. Экологический анализ и анализ жизненных форм характеризуют исследуемую флору как бореальную.

## ВЛИЯНИЕ ЦИНКА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОДЫХ РАСТЕНИЙ *HELIANTHUS ANNUUS L.*

**М.А. Ньюкалова**

**Научный руководитель Н.А. Гаевский**

*Сибирский федеральный университет*

Тяжелые металлы влияют на рост и развитие растений и оказывают множественное негативное действие на различные физиологические процессы, такие как, минеральное питание и водный обмен. Некоторые металлы, например, медь, цинк, молибден являются незаменимыми для биохимических процессов на уровне деления клетки. Они могут оказывать положительное и отрицательное влияние на процессы, происходящие в организме растений при внесении в высоких концентрациях.

В процессе развития при единичном внесении незаменимых тяжелых металлов в питательную среду они оказывают стимулирующее действие на ряд физиологических параметров, связанных с активацией защитно-приспособительных механизмов и клеточного деления. Только использование очень высоких концентраций этих металлов приводит к необратимому нарушению всех ростовых процессов у растений и в дальнейшем к их гибели. Это связано с нарушением действия механизмов детоксикации тяжелых металлов.

Растения по степени накопления тяжелых металлов делят на индикаторы, показывающие уровни концентрации металлов почве, на аккумуляторы, накапливающие ионы металлов в побегах, на исключители, поступление металлов, в организм которых ограничено. Для исследователей представляет интерес такое свойство, как накопление ионов тяжелых металлов в больших концентрациях и обеспечение их переноса по биогеохимическим трофическим сетям. Способность к гипераккумуляции тяжелых металлов у растений определяется механизмами поглощения и транспорта тяжелых металлов, а их устойчивость к избытку металла – механизмами их детоксикации.

Целью данной работы является изучение воздействия различных концентраций цинка на физиологические показатели подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus L.*).

Растения подсолнечника *Helianthus annuus L.* сорта Чернянка 66 получены из коммерческих семян. Семена растений предварительно были простерилизованы разведенным водой 1:1 раствором «Белизна» в течение 15 мин. Семена были промыты проточной водой в течение 3 мин. Стерилизованные семена были пророщены в чашке Петри, на влажной фильтровальной бумаге. Через 24 ч проросшие семена были помещены в рулон из влажной туалетной и белой плотной бумаги и оставлены на сутки.

После этого растения были помещены в стеклянные, защищенные от света емкости на раствор Хогланда – Снайдерса, разведенный в 10 раз, где содержались в идентичных условиях, при температуре около 27-30°C под люминесцентными лампами без фотопериода в течение двух суток.

В экспериментах с добавлением цинка использовали среду Хогланда–Снайдерса, разбавленную в пять раз, железо лимоннокислого было добавлено отдельно, раствор готовили на дистиллированной воде.

Цинк вносили в форме  $ZnSO_4 \times 7H_2O$  в питательный раствор объемом 25 мл в следующих концентрациях: 1 – 0,12 мг/л ( $6 \times 10^{-6}$  моль/л); 2 – 0,2 мг/л ( $10^{-5}$  моль/л); 3 – 0,6 мг/л ( $3 \times 10^{-5}$  моль/л); 4 – 1,2 мг/л ( $6 \times 10^{-5}$  моль/л); 5 – 2 мг/л ( $10^{-4}$  моль/л); 6 – 6 мг/л ( $3 \times 10^{-4}$  моль/л). В контроле цинк не вносили. Каждый вариант изучали в четырех повторностях. В каждой пробирке находилось одно растение. Было проведено два эксперимента, первый длился 77 ч, второй – 51 ч.

В конце каждого опыта измеряли объем и электропроводность питательного раствора (кондуктометр N5721, Венгрия), сырую и сухую массу корня и побегов, поглотительную емкость корней. Дополнительно проводили исследования для определения поправки на испарении в определении объема раствора. Взвешивание проводилось на аналитических весах (ВПП-200).

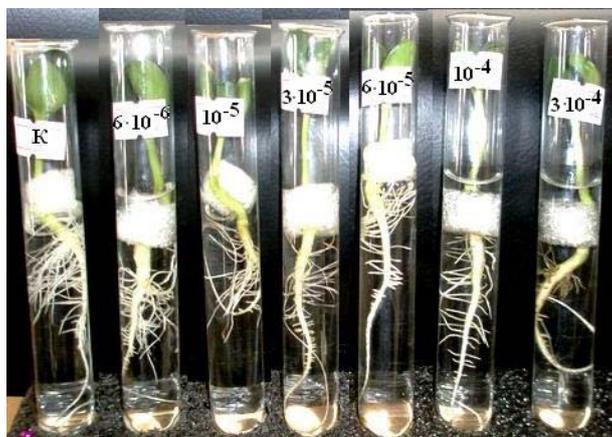
Поглотительную емкость определяли на основании окраски корней раствором метиленового синего в концентрации 69,4 мг/л в течение 3 мин. Высушенные в эксикаторе в течение двух суток над  $CaCl_2$  корни с известной сухой массой растирали в ступке с битым стеклом, переносили в мерные пробирки с добавлением 0,9 %-го раствора  $CaCl_2$ . Полученные растворы были центрифугированы (CentrifugeMPW 340) в течение 7 мин при 2800 об/мин. Оптическую плотность измеряли на фотоэлектроколориметре (КФК-2 УХЛ 42) при длине волны 670 нм в кювете шириной 0,5 см. За контроль брали дистиллированную воду. после этого взвешивалась сырая масса подземной части растений.

В обоих экспериментах установлено наличие определенных изменений в корневых системах исследуемых проростков (рис. 1). В обоих экспериментах при концентрации цинка  $10^{-4}$  моль/л отмечено уменьшение количества боковых корней, потемнение поверхности корней и изменение листовой пластинки (пожелтение, появление бурых пятен).

В первом эксперименте при наблюдении за растениями, пребывающими в повышенных концентрациях цинка, начиная от  $3 \times 10^{-5}$  моль/л, заметно уменьшение сырой и сухой массы растений, как корней, так и побегов. Отношение массы побега к массе корня, начиная с этой концентрацией увеличивается, что указывает на преимущественное уменьшение массы и разветвленности корней по сравнению с массой побегов.

Во втором эксперименте время экспозиции было значительно уменьшено. Возможно, благодаря этому было установлено, что сырая и сухая массы корней и побегов значительно уменьшались с концентрацией рас-

твора  $10^{-5}$  моль/л. Концентрация  $6 \times 10^{-6}$  моль/л оказывала стимулирующее действие на прирост биомассы. Это отображено на рис. 2(А, Б) и 3(А, Б) для первого и второго эксперимента соответственно.



*Рис. 1. Внешний вид молодых растений подсолнечника после 77 часовой экспозиции в растворах с различным содержанием цинка (первый эксперимент)*

При изучении содержания влаги в растении в обоих экспериментах наблюдали значительное снижение значений этого параметра. Из этого мы можем заключить, что происходит насыщение растений ионами цинка и ухудшение работы поглощающей системы проростков из-за нарушения проводящей функции корня.

Поглотительная емкость корней (рис. 4 А, Б) определяется вместимостью проводящей системы корня, способностью поглощать микроэлементы из питательной среды. В данной работе, в первом эксперименте, мы наблюдали уменьшение ее параметров при небольшом увеличении концентраций раствора до  $10^{-5}$  моль/л и повышение значений вместимости корневой системы при нормировании, как на сухую, так и на сырую массу. Во втором эксперименте происходило колебание поглотительной способности на диапазоне концентраций от  $6 \times 10^{-6}$  до  $6 \times 10^{-5}$  моль/л и значительное повышение емкости поглощения. Возможно, это связано с тем, что при уменьшении всасывающей поверхности корня происходит активация механизмов детоксикации и включение в работу остаточных механизмов защиты растений.

В первом и во втором экспериментах (рис. 5 А, Б) наблюдали сначала понижение, а затем при концентрации  $3 \times 10^{-5}$  моль/л и выше постепенное усиление работы поглотительной системы корня. При этом в растении происходило уменьшение массы и содержания метиленового синего в корнях растений. Можно сказать, что тот же объем, занятый цинком, обеспечивает большую поглощающую силу растения. Увеличение эффективности работы поглотительной системы корня связано с тем, что активировались дополнительные более действенные механизмы поступления воды и питательных веществ в корни проростков подсолнечника.

Из сравнения результатов двух экспериментов можно предположить, что при кратковременной экспозиции корней в растворах, содержащих цинк, механизмы детоксикации этого тяжелого металла работают эффективнее. С позиции минерального питания цинк становится токсичным, если его содержание превышает определенный уровень.

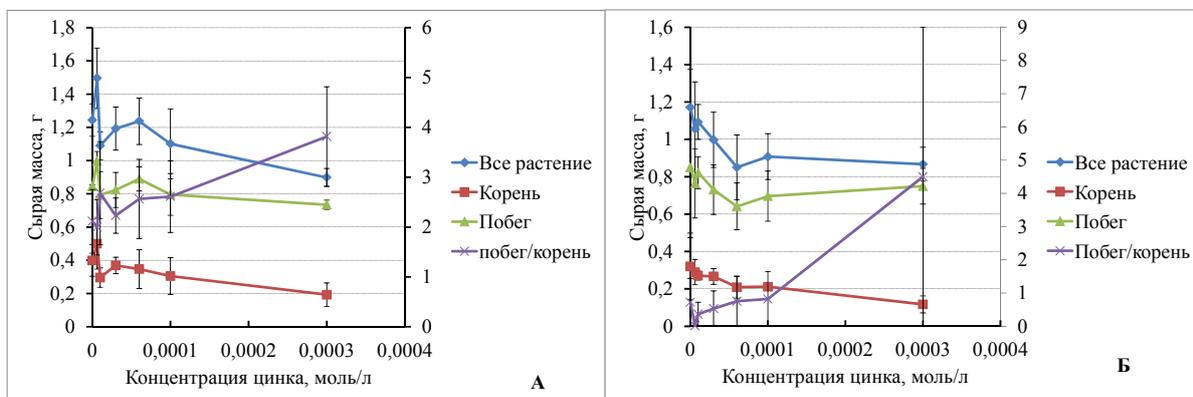


Рис. 2. Сырая биомасса растений:  
(А) – первый эксперимент, (Б) – второй эксперимент

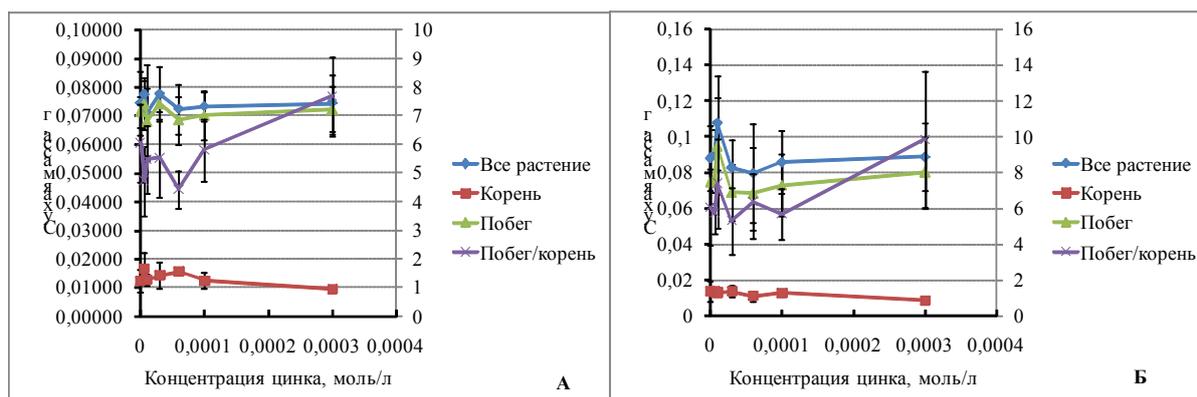


Рис. 3. Сухая биомасса растений:  
(А) – первый эксперимент, (Б) – второй эксперимент

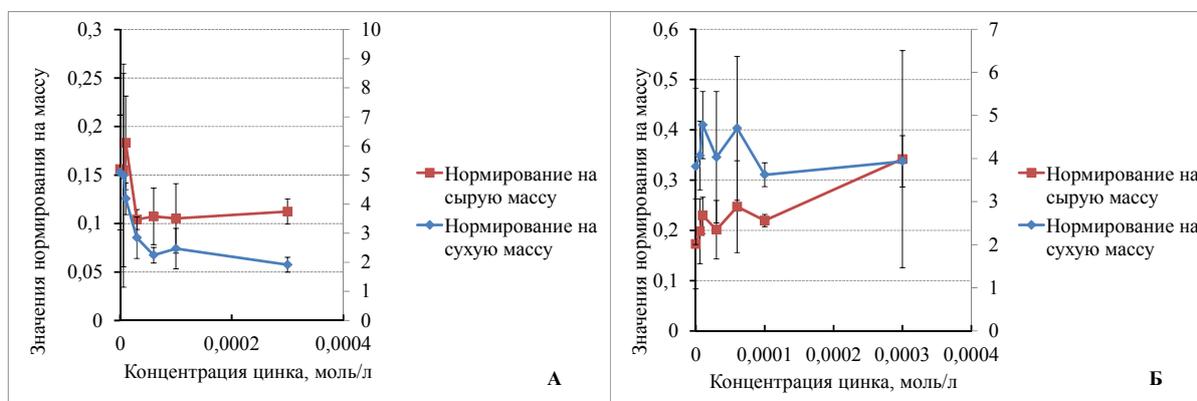


Рис. 5. Значения емкости поглощательной способности корней растений:  
(А) – первый эксперимент, (Б) – второй эксперимент

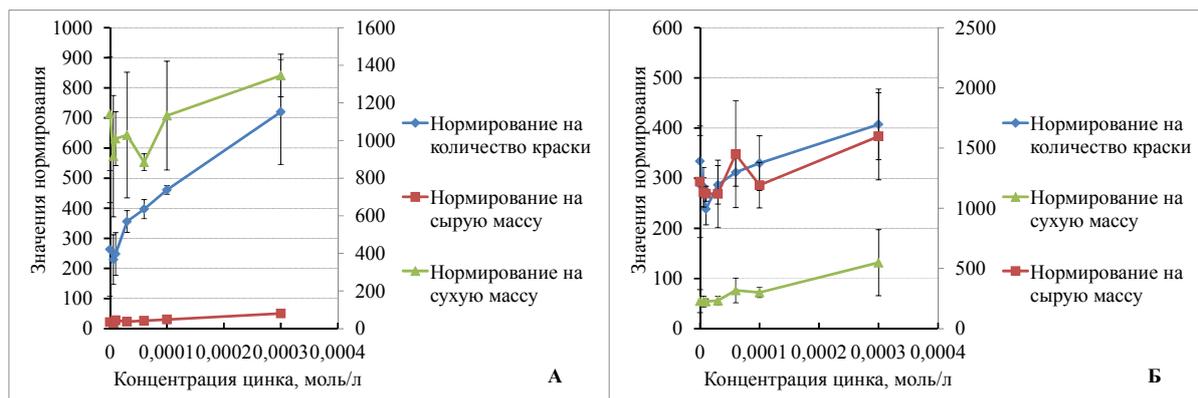


Рис. 6. Значения поглотительной способности корней растений: (А) – первый эксперимент, (Б) – второй эксперимент

## Выводы

Для подсолнечника однолетнего *Helianthus annuus* L сорта Чернянка 66 близкой к критической является концентрация  $ZnSO_4 \times 7H_2O$ , равная  $3 \times 10^{-4}$  моль/л. При этой концентрации раствора в корнях наблюдаются существенные изменения, выражающиеся в уменьшении количества боковых корней, заметном искривлении и потемнении главного корня, существенном понижении поглощающей способности корнями в отношении воды и питательных веществ.

Цинк в малой концентрации ( $6 \times 10^{-6}$  моль/л) оказывал стимулирующий эффект на растение подсолнечника, проявившийся в активации физиологических показателей.

УДК: 579.6

## ТРОПИЧЕСКИЕ ПОЧВЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ-ДЕСТРУКТОРЫ ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ

О.Н. Россихина

Научный руководитель С.В. Прудникова

Сибирский федеральный университет

На протяжении многих десятилетий синтетические полимеры широко и активно применялись во всех сферах человеческой жизнедеятельности и благодаря своим уникальным качествам приносили немалую пользу. Но кроме ряда преимуществ, пластмассы обладают и негативными свойствами, одним из которых является невозможность разрушаться в естественных условиях.

Известно, что требуется более 100 лет на естественное разложение пластика, в процессе которого выделяются токсичные вещества, нарушается газообмен в почве и воде. Загрязняющие и ядовитые вещества разносятся на большие расстояния, попадают в почву, в воду, приводят к гибели животных, растений, отрицательно влияют на нашу среду обитания в целом и, как следствие, на здоровье человека в частности. Вот почему так важно изучение полимеров, обладающих теми же свойствами, что и пластмассы, но естественно разлагающихся в окружающей среде, а также изучение процессов разложения и организмов-участников этого процесса.

К широко применяемым и выпускаемым в огромных количествах синтетическим полимерам по ряду физико-химических свойств наиболее близки полигидроксиалканоаты. Они обладают пластичностью, оптической активностью, антиоксидантными свойствами, характеризуются биоразрушаемостью и биосовместимостью. В настоящее время известно более 100 различных полигидроксиалканоатов. ПГА накапливаются в бактериальных клетках в виде гранул.

Полигидроксиалканоаты (ПГА) – биополимеры оксипроизводных жирных кислот, синтезируются многими прокариотическими микроорганизмами в специфических условиях несбалансированного роста при избытке углеродного и энергетического субстрата в среде и дефиците минеральных элементов (азота, серы, фосфатов и др.), а также кислорода. Среди наиболее перспективных продуцентов ПГА – *Azotobacter*, *Bacillus*, *Methylomonas*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*.

Среди всех полигидроксиалканоатов наибольший интерес представляют поли-3-оксиубтират (ЗПОУБ) и поли-2-оксипропионат (2ПОП).

Полимеры разлагаются в почве при участии множества микроорганизмов, основные представители которых относятся к классам Firmicutes и Proteobacteria и широко распространены среди таких семейств, как Pseudonocardiaceae, Micromonosporaceae, Thermonosporaceae, Streptosporanginaceae, Streptomycetaceae. Среди бактерий активными деструкторами являются представители родов *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Comamonas*, *Streptomyces*, *Pyrobacter*.

Целью данной работы являлось изучение роли почвенных микромицетов в процессах деструкции ПГА. Эксперимент проводился в тропических условиях в почве в окрестностях Ханоя и Нячанга. Исследовались образцы полимеров, синтезированные в культуре *Wautersia eutropha* B5786 по технологии Института биофизики СО РАН. Образцы размещали в почве на глубине 5 см. Через 6 мес. экспозиции исследовались контрольные образцы почвы и соскобы с поверхности образцов ПГА, которые высевали на питательные среды Сабуро и Чапека. Способность к деструкции полимера выявляли ме-

тодом прозрачных зон на модифицированной среде Чапека, содержащей 0,5 % ПГА.

Почвенно-климатические условия районов исследования различались. В более кислых ( $\text{pH}=5,5$ ) и влажных почвах Ханоя была выше общая численность микромицетов и видовое разнообразие, среди деструкторов ПГА доминировали *Acremonium recifei*, *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma pseudokoningii*, *Gongronella butleri* и *Penicillium sp* (рис. 1). В более сухих и нейтральных почвах Нячанга ( $\text{pH} = 6,6$ ) в качестве деструкторов ПГА были обнаружены только *Gongronella butleri* и *Penicillium sp*.

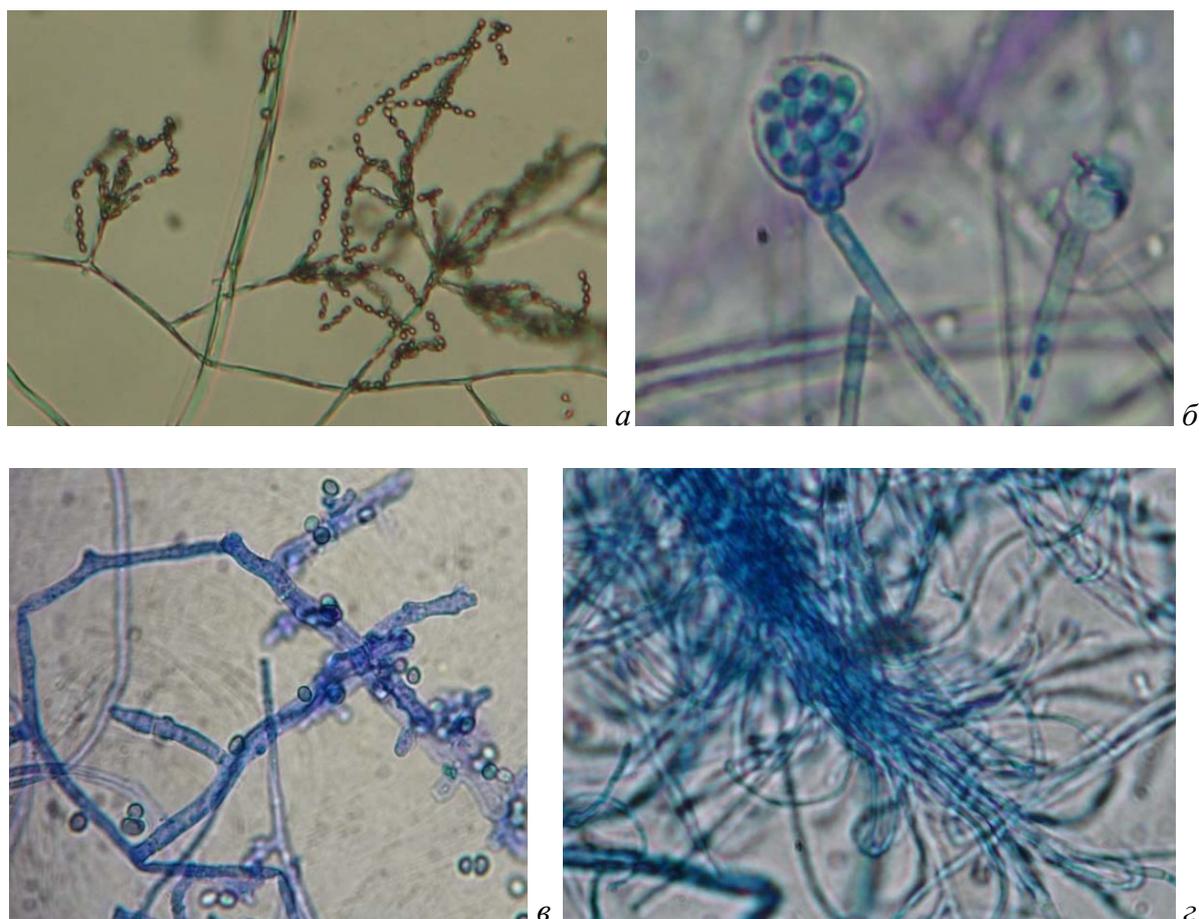


Рис.1. Микрофотографии конидиального спороношения грибов-деструкторов полигидроксиалканоатов:

а – *Paecilomyces lilacinus* IBP-VHS44, б – *Gongronella butleri* IBP-VNS13,  
в – *Trichoderma pseudokoningii* IBP-VHS73, г – *Acremonium recifei* IBP-VHS68

Таким образом, в результате эксперимента были выявлены микромицеты – деструкторы ПГА, среди которых доминировали представители родов *Acremonium*, *Gongronella*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Trichoderma*.

**СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА ИНТЕНСИВНОСТИ ПИТАНИЯ  
И ОБЩЕЙ ПРОТЕОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ  
В ОРГАНИЗМЕ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ  
НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА**

**А.Е. Рудченко**

**Научные руководители С.М. Чупров, И.А. Столбунов**

*Сибирский федеральный университет*

Значение питания в жизнедеятельности организма очень велико. Пища, поступающая в организм, обеспечивает на всех этапах его развития энергетические процессы, связанные с движением, ростом, созреванием, размножением (Никольский, 1963). На личиночном периоде развития, несмотря на то, что внешнее и внутреннее строение не приняло характер взрослого организма, рыба питается за счет внешнего корма. Суточный ритм жизни рыб в определенных пределах специфичен для вида, отдельных популяций этого вида, этапов развития. В первую очередь суточный ритм вырабатывается как приспособление к добыванию пищи (Уголев, Кузьмина, 1993). В течение онтогенеза спектр питания рыб значительно изменяется. Молодь всех рыб на ранних этапах своего развития питается планктоном. Расширение кормовой базы, а также становление определенного типа питания наблюдается только к концу первого нагульного периода (Ильина, 1973). Все эти процессы сопровождаются перестройкой ферментативной системы рыб. Состав пищи оказывает прямое влияние на активность пищеварительных гидролаз рыб. Белки, наряду с углеводами, являются основными компонентами пищи, которые во многом определяют темпы роста и развития рыб на ранних стадиях онтогенеза, что в свою очередь оказывает влияние на численность будущего стада рыб (Кузьмина, 1990).

**Материалы и методы**

Материал для данного исследования был собран 28 – 29 июня 2011 г. в открытой и защищенной литорали Волжского плеса Рыбинского водохранилища. Для выявления суточной динамики интенсивности питания в течение суток с интервалом в 3 ч отбирались пробы молоди рыб (уклейка *Alburnus alburnus* (L.), лещ *Abramis brama* (L.), густера *Blicca bjoerkna* (L.), жерех *Aspius aspius* (L.), плотва *Rutilus rutilus* (L.)) в прибрежной зоне острова Хохотский. Орудие лова – мальковый сачок. Пробы фиксировались 4 %-ным раствором формальдегида. Часть личинок и мальков фиксировалась 10 % раствором глицерина, приготовленным на растворе Рингера

(рН 7,4). Данные пробы хранились при  $t$  близкой к  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Выловленная молодь до вида определялась по А.Ф. Коблицкой (1981 г.) и взвешивалась на торсионных весах. Кишечные тракты личинок и мальков извлекались под бинокулярным микроскопом при помощи препаровальных игл и также взвешивались на торсионных весах. Для определения активности протеолитических ферментов (протеаз), преимущественно трипсина, в организме личинок и мальков рыб брали навеску мышечной и костной ткани (0,5 г) и гомогенизировали её с раствором Рингера (рН 7,4) в соотношении 1 г ткани на 5 мл раствора. Определение активности протеолитических ферментов осуществлялось по методу Ансона (1938) в модификации В.В. Кузьминой (1990).

## Результаты

У молоди рыб (уклейки), выловленной в защищенной литорали общий индекс наполнения кишечного тракта изучался на стадии развития (С2 – D1), данный вид доминировал в пробах в течение суток. Всего было обработано 275 экз. уклеи.

При исследовании наполненности пищеварительного тракта уклеи было выявлено два пика интенсивного питания в течение суток. Первый пик наблюдался в утренние часы (6 – 9 ч); второй – в вечерние часы (21 – 0 ч). Общий индекс наполнения кишечника в эти периоды составил соответственно 0,19 и 0,18 (0/000). Полученные значения достоверно отличаются ( $p \leq 0,05$ ) от индексов наполнения в другие часы (рис. 1).

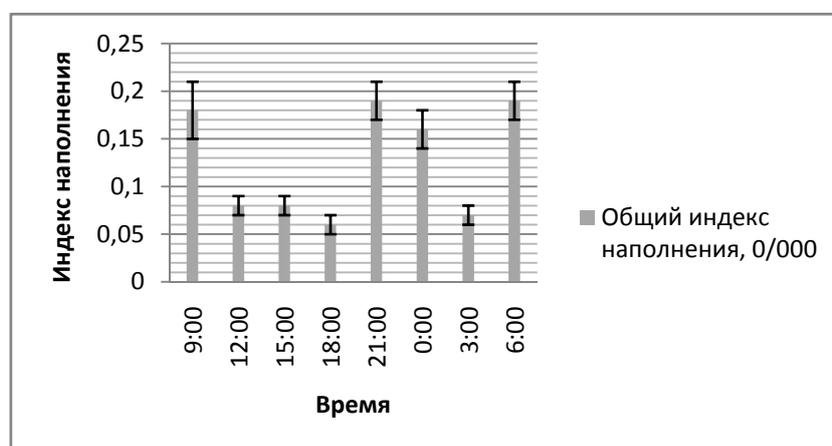


Рис. 1. Суточная динамика общего индекса наполнения кишечного тракта ранних личинок уклеи (защищенная литораль, Рыбинское водохранилище, 28-29 июня 2011 г.)

Определение активности протеолитических ферментов в организме молоди уклеи также показали два пика протеолитической активности (рис. 2).

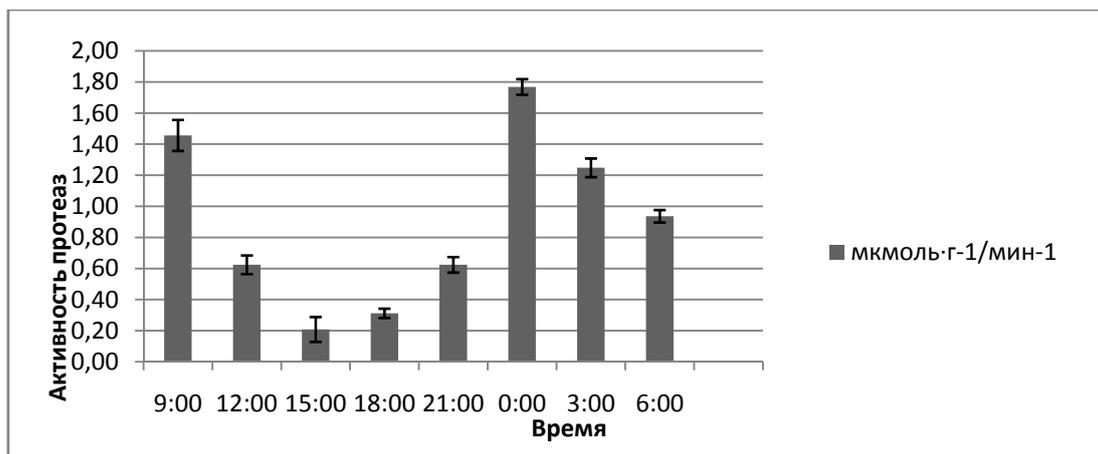


Рис. 2. Суточная динамика активности протеолитических ферментов в организме ранних личинок уклеи (защищенная литораль, Рыбинское водохранилище, 28-29 июня 2011 г.)

Средняя активность протеолитических ферментов в течение суток составила 0,95 U (мкмоль·г<sup>-1</sup>/мин<sup>-1</sup>). Наибольшая активность наблюдалась в 9 ч – 1,46 U, а также в 0 ч – 1,77 U. Различия в уровне активности протеаз достоверны ( $p \leq 0,05$ ).

В пробах из открытой литорали водохранилища преобладали ранние мальки плотвы на этапе развития E. Для изучения интенсивности питания было просмотрено 67 мальков плотвы. Так же, как и у личинок уклеи, у молоди плотвы наблюдалось два пика интенсивного питания (рис. 3). В 9 – 12 ч общий индекс наполнения кишечника составил 0,06; в 0 ч – 0,9 соответственно.

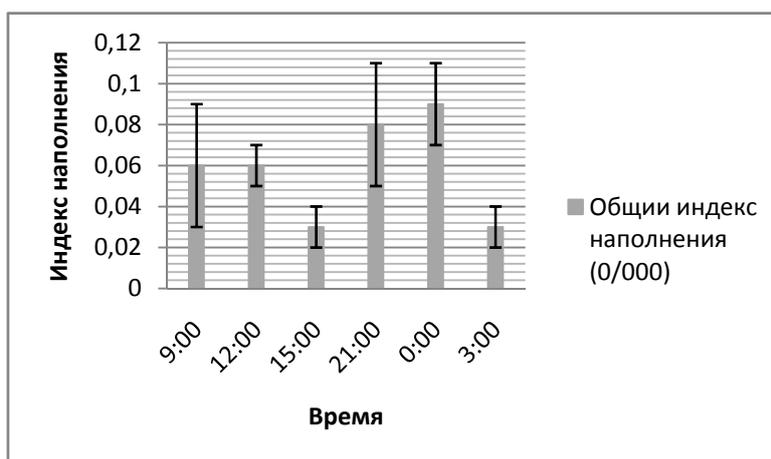


Рис. 3. Суточная динамика общего индекса наполнения кишечного тракта мальков плотвы (открытая литораль, Рыбинское водохранилище, 28-29 июня 2011 г.)

Суточная динамика активности протеолитических ферментов в организме ранних мальков плотвы соответствовала показателям, полученным для личинок уклеи (рис. 4). Однако средняя активность протеолитиче-

ских ферментов в течение суток у плотвы была ниже, чем у уклейки и составляла 0,69 U. Наибольшая активность наблюдалась в 9 ч – 1,14 U, и в 0 ч – 1,25 U.

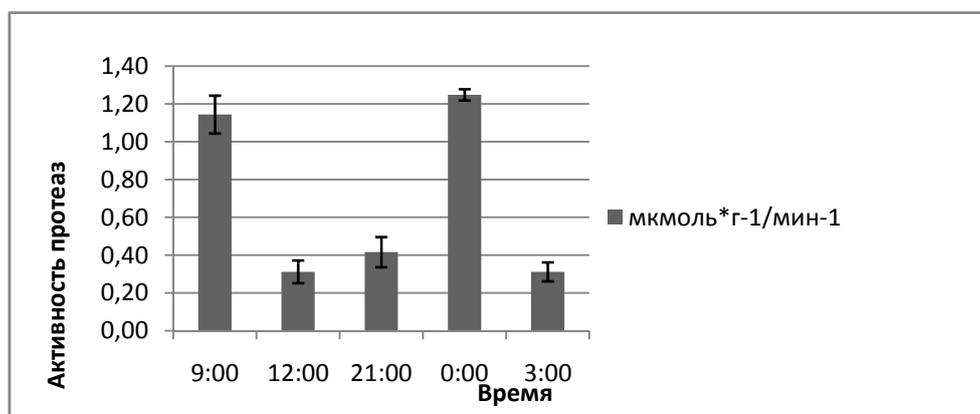


Рис. 4. Суточная динамика активности протеолитических ферментов в организме мальков плотвы (защищенная литораль, Рыбинское водохранилище, 28-29 июня 2011 г.)

Кроме того, активность ферментов протеолиза была определена у личинок леща (этап D2), густеры (этап D2) и ранних мальков жереха (этап E), которые встречались в пробах в единичных экземплярах. Средняя ферментативная активность протеаз в организме личинок леща составила – 0,79U; густеры – 0,82 U, жереха – 0,59 U.

Таким образом, у личинок и мальков рыб прибрежной зоны Волжского плеса Рыбинского водохранилища (о. Хохотский) наблюдается определенная закономерность суточной динамики интенсивности питания. Для всех видов, выловленных в течение суток, как в защищенной, так и в открытой литорали, характерно наличие двух пиков активного питания. Индексы наполнения кишечника имели наибольшее значение в утренние (с 6 до 12 ч) и в вечерние (21 – 0 ч) часы. Известно, что для большинства растительноядных рыб обилие корма позволяет им иметь один период кормежки в сутки, тогда как его недостаток может привести к появлению нескольких пиков активного питания (Уголев, Кузьмина, 1993).

Исследование общей протеолитической активности ферментов в организме личинок и мальков рыб Волжского плеса Рыбинского водохранилища показало, что периоды наибольшей активности протеолитических ферментов в организме исследуемых рыб совпадают по времени с пиками интенсивного питания молоди. Что также подтверждается высоким уровнем корреляции общего индекса наполнения кишечника и уровня активности протеаз ( $r = 0,62$  для плотвы,  $r = 0,73$  для уклейки). Это свидетельствует о том, что в рационе личинок и мальков присутствует белковая пища (зоопланктон). Средняя активность протеаз достоверно различается у молоди разных этапов развития ( $p \leq 0,05$ ). У ранних личинок уклейки средняя активность протеаз достоверно выше, чем у ранних мальков жереха и

плотвы, что может свидетельствовать о некоторых различиях в составе пищи. Однако для подтверждения этих данных необходимо дальнейшее исследование спектра питания молоди и динамики планктона в литоральной зоне водохранилища.

Таким образом, показано, что активность протеолитических ферментов отражает динамику интенсивности питания. Кроме того, исследуя различные пищеварительные гидролазы в кишечнике рыб можно определить и оценить биохимический состав пищи. В связи с этим исследование динамики интенсивности питания рыб можно проводить не только используя классические методы, но и методы определения активности ферментов, что в некоторых случаях быстрее и информативнее.

### Список литературы

1. Ильина, Л. К. Поведение сеголетков окуня *Perca fluviatilis* L. Разных экологических групп в потомстве одной пары производителей / Л. К. Ильина // Вопросы ихтиологии. – М.: Наука, 1973. – Т. 13. – В. 2. – С. 79.
2. Никольский, Г. В. Экология рыб / Г. В. Никольский. – М.: Высшая школа, 1963. – 366 с.
3. Кузьмина, В. В. Влияние температуры на уровень общей протеолитической активности пищеварительного тракта у некоторых пресноводных костистых рыб / В. В. Кузьмина // Вопросы ихтиологии. – М.: Наука, 1990. – Т. 2. – В. 5. – С. 668-678.
4. Уголев, А. М. Пищеварительные процессы и адаптации у рыб / А. М. Уголев, В. В. Кузьмина. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 238 с.

УДК 579.64

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ОТВАЛОВ БОРОДИНСКОГО БУРОУГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

**А.М. Синельникова**

**Научный руководитель А.В. Богородская**

*Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН,*

*Сибирский федеральный университет*

Почва является важнейшим компонентом биосферы, и ее восстановление после разработки угольных месторождений – необходимое условие регенерации техногенного ландшафта. Однако в большинстве случаев темпы рекультивационных работ отстают от объемов нарушенных земель,

применяемые технологические приемы являются экологически малоэффективными. Очевидно, что для повышения эффективности биологической рекультивации, управления почвообразовательным процессом в техногенных ландшафтах требуются новые подходы в организации рекультивационных работ.

Поскольку интенсивность почвообразовательных процессов на первых этапах восстановления отвалов во многом определяется активностью микрофлоры как наиболее активного и пионерного компонента педобионтов, быстро реагирующих на изменение физико-химических свойств почвогрунтов, предполагается, что интродукция в ювенильную почву популяций микроорганизмов повысит биологическую активность почвогрунтов и позволит ускорить процессы первичного почвообразования на отвалах Бородинского бурогоугольного разреза.

Целью работы являлась оценка влияния бакпрепарата и дополнительных источников органического вещества на повышение биологической активности и продуктивности отвалов Бородинского бурогоугольного разреза.

Исследование проводилось на территории Бородинского бурогоугольного разреза. Закладку эксперимента по микробиологической рекультивации техногенных поверхностных образований (ТПО) проводили на двух пятилетних отвалах с нанесением плодородного слоя почвы (ПСП) (реплантозем) и без (литострат). Верхний 20 см слой ТПО предварительно взрыхляли фрезой, затем размечали участки (2×2 м) с разными вариантами эксперимента (рис. 1).



Рис. 1. Схема закладки эксперимента (цифрами обозначены посевы травянистых растений 1 – горчица; 2 – клевер красный; 3 – газонная травосмесь (мятлик луговой, овсяница красная); 4 – мелисса)

Каждый участок ограничивали от других слоем толстого полиэтилена, который вкапывали на глубину 25 см (обозначено на схеме двойной линией). Каждый вариант делили на четыре части (1×1 м) для посева тес-

товых травянистых растений (на схеме обозначены цифрами). В варианте «Контроль» ТПО оставляли без изменений. В варианте «БАК» после посева трав поливали раствором (1:100) бакпрепарата «Кэм Бин Байкал». Свежие сосновые опилки и навоз на вариант вносили в объеме 20 л, затем проводили посев трав и поливали раствором бакпрепарата.

Образцы для микробиологического анализа в эксперименте по рекультивации на двух отвалах отбирались с каждого варианта в начале закладки эксперимента 18.05.2011 и трижды за вегетационный период: в середине июня, июля и в начале сентября из верхнего слоя 0-10 см. Для каждого варианта отбирали смешанный образец в четырех повторностях.

Изучали общую численность и структуру эколого-трофических групп микроорганизмов (ЭКТГМ) стандартными методами посева на плотные питательные среды. Для изучения параметров функциональной активности определяли содержание микробной биомассы (Смик) методом субстрат-индуцированного дыхания и базальное дыхание (БД) почвы хроматографически. В конце вегетативного сезона определяли продуктивность ТПО по надземной фитомассе, которую учитывали стандартными методами.

Минимальная численность гетеротрофной микрофлоры отмечается в начале вегетационного периода, увеличивается к июлю в основном за счет олиготрофной и олигонитрофильной группировок и достигает максимума к сентябрю, при этом значительно возрастает именно численность органо-трофного комплекса, и в то же время снижается олиготрофность почв в отношении доступного органического вещества и азота. Динамичность структуры и численности микроорганизмов отвалов объясняется поступлением легкогидролизуемого органического вещества и сезонным изменением гидротермических условий. Отмечено, что численность аммонификаторов во все сроки выше на отвале с нанесением ПСП, причем к концу вегетативного сезона их количество в реплантоземе превышает таковое в литострате в 3,5 раза, что объясняется бедностью литостратов доступным органическим веществом. Внесение бакпрепарата и дополнительных источников органического вещества на отвалах как без ПСП, так и с ПСП сразу же приводит к увеличению численности аммонификаторов в 1,5-3 раза, причем максимальное увеличение их численности наблюдается при внесении бакпрепарата в сочетании с навозом и опилками. Численность олиготрофной микрофлоры также увеличивается в этих же вариантах. Численность прототрофов, использующих минеральные соединения азота и сложные углеводы, мало изменяется. Таким образом, внесение одного бакпрепарата и в сочетании с дополнительными источниками органического вещества приводят к молниеносному увеличению численности гетеротрофной флоры.

Через месяц после начала эксперимента количество почти всех ЭКТГМ на отвале с ПСП снижается в вариантах «БАК» и «БАК+опилки», а

в варианте «БАК+навоз» количество микрофлоры возрастает в 1,5-9 раз. На отвале без нанесения ПСП наблюдался устойчивый положительный эффект, и почти во всех вариантах численность ЭКТГМ была выше контроля.

В середине июля на отвале с нанесением ПСП количество микроорганизмов всех изучаемых групп возрастает по сравнению с началом сезона, особенно олиготрофных форм, а количество аммонификаторов сравнимо с контролем или ниже его. Численность прототрофов, использующих минеральные соединения азота, напротив, во всех вариантах выше контроля, что свидетельствует об интенсификации процессов микробиологической минерализации органических веществ. Количество олиготрофов во всех вариантах (кроме варианта с опилками) ниже контроля, тогда как численность олигонитрофилов – превышает контроль.

На отвале без нанесения ПСП в середине вегетационного сезона несколько иная ситуация: количество аммонификаторов во всех вариантах превышает контроль в 1,3-1,7 раз, кроме варианта с бакпрепаратом, где их численность находится на уровне контроля. Численность прототрофов, а также всех олиготрофных форм значительно превышает контроль.

К сентябрю численность гетеротрофной микрофлоры значительно возросла по сравнению с началом сезона, особенно на отвале с ПСП, где максимально увеличивается численность всех ЭКТГМ в вариантах «БАК+навоз» и «Навоз». На отвале без ПСП численность гетеротрофной микрофлоры выше контроля в 1,5-6 раз в вариантах БАК в сочетании с дополнительными источниками органического вещества и «Навоз». Внесение одного бакпрепарата не дало положительного эффекта для микробного комплекса.

Исследование динамики параметров функциональной активности в ТПО отвалов показывает, что в течение сезона содержание Смик во всех вариантах на участке с ПСП выше, чем на участке без ПСП, что зависит от наличия доступного органического вещества в ТПО отвалов.

Сразу после закладки эксперимента во всех вариантах, как содержание Смик, так и интенсивность БД увеличивались, особенно на отвале без нанесения ПСП.

Через месяц после закладки эксперимента по рекультивации содержание Смик на участке с ПСП немного выше контроля или на уровне контроля во всех вариантах, тогда как интенсивность БД максимальна в вариантах сочетания бакпрепарата с дополнительными источниками органического вещества, что свидетельствует об увеличении функциональной активности микробоценозов. На отвале без ПСП максимальное увеличение как Смик, так и БД также наблюдалось в вариантах БАК в сочетании с дополнительным органическим веществом и «Навоз».

В середине вегетационного периода как содержание Смик, так и интенсивность БД несколько снижена. На отвале с ПСП во всех вариантах

как содержание Смик, так и интенсивность БД выше контроля (максимальное увеличение этих параметров в 2-2,5 раза наблюдается в варианте «БАК+опилки»). На отвале без ПСП рассматриваемые показатели также выше контроля во всех вариантах, исключая вариант «БАК», где параметры функциональной активности микробоценоза находились на уровне контроля. К концу вегетационного периода содержание Смик увеличивается особенно заметно на участке с ПСП. Максимальными величинами Смик и БД на этом участке характеризуются варианты «БАК+опилки», «БАК+навоз», тогда как на участке без ПСП значительное повышение параметров функциональной активности отмечено в вариантах «БАК+навоз» и «Навоз».

Оценка запасов фитомассы тестовых травянистых растений свидетельствует, что во всех вариантах эксперимента наблюдалось увеличение их фитомассы. На отвале с ПСП создаются лучшие условия по обеспеченности питательными веществами и азотом для произрастания растений, при этом максимальное увеличение продуктивности отмечено в варианте «БАК+навоз». Актуальная продуктивность почвогрунтов без ПСП выше в вариантах «БАК+навоз» и «Навоз». В целом внесение бакпрепарата с дополнительными источниками органического вещества и отдельно органических веществ стимулировало рост травянистых растений, что отразилось в запасе их фитомассы. Общая численность гетеротрофной микрофлоры хорошо коррелирует с запасами фитомассы ( $r=0,59-0,84$ ), а количество аммонификаторов имеет более тесную связь с запасами клевера и горчицы ( $r=0,68-0,83$ ).

Таким образом, показано, что сразу после внесения бакпрепарата и дополнительных источников органического вещества увеличивается численность гетеротрофной микрофлоры и возрастают параметры функциональной активности ТПО. В середине вегетационного периода эффект от рекультивационных мероприятий на участке с ПСП несколько сглаживается, но достигает максимума к концу сезона. Прослеживается тенденция максимального увеличения численности гетеротрофной микрофлоры и параметров функциональной активности на обоих отвалах при внесении бакпрепарата в сочетании с дополнительными источниками органического вещества и навоза. Общая численность гетеротрофной микрофлоры и количество аммонификаторов хорошо коррелирует с данными по запасам фитомассы травянистых растений. Полученные результаты показывают недостаток органического вещества для развития микробного комплекса на отвалах без ПСП.

Внесение бакпрепарата эффективно в сочетании с органическими удобрениями и может быть рекомендовано для улучшения плодородия почвогрунтов отвалов Бородинского бурoughольного разреза.

## **ГИПЕРКАПНИЯ, КАК ИНДУКТОР ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ И ЛЕКАРСТВЕННОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ КУЛЬТУРЫ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК**

**Е.Н. Смирнова**

**Научные руководители Т.Н. Субботина, И.А. Ольховский**

*Сибирский федеральный университет*

Культуры бластных клеток от пациентов с онкогематологическими заболеваниями могут быть использованы для определения прогноза чувствительности к химиотерапии, риска развития резистентности и рецидива заболевания. Вместе с тем известно, что локальные условия гипоксии и гиперкапнии у пациентов *in vivo* могут существенно влиять на пролиферативную активность опухолевых клеток и их чувствительность к цитостатикам. В последние годы с помощью микроэлектродной техники было показано, что рН опухоли более кислый, чем в окружающих тканях организма – носителя (речь идет о внеклеточном рН). Несмотря на то, что рН крови – жесткая константа (7,36 – 7,42) оптимальный рН для роста опухолевых клеток составляет 7,0-7,2, а максимальная пролиферация наблюдается при рН 6,8. При этом следует учитывать, что при достижении рН некоего критического уровня 6,5 – 6,0 даже приспособившаяся к «кислым условиям» злокачественная опухоль не сможет, вероятно, нормально существовать.

Цель работы – оценить влияния среды с кислым рН на пролиферативную активность и лекарственную чувствительность культуры опухолевых клеток. В задачи входило: моделирование условий для культивирования клеток линии Нек и бластных клеток пациентов с острым лейкозом в гиперкапнических условиях при сниженной рН среды, оценка пролиферативной активности лейкозных клеток с использованием проточного цитофлюориметра и проведение цитотоксического теста (МТТ – колориметрический тест).

Опухолевую прогрессию можно представить в виде схемы, включающей следующие события:

1. Усиленный гликолиз в опухолях изменяет микроокружение, существенно снижая внутриопухолевый рН (внеклеточный) – феномен, наблюдаемый в эксперименте.
2. Ионы водорода, продуцируемые опухолью, диффундируют вдоль градиентов концентрации в окружающие нормальные ткани.
3. Подкисление внеклеточного окружения служит преимуществом для опухоли, так как: а) индуцирует гибель нормальных клеток благодаря

некрозу или активации р53-зависимого апоптотического пути; гибель нормальных клеток способствует образованию пространства, в котором опухолевые клетки могут пролиферировать; б) внеклеточный ацидоз способствует ангиогенезу через кислотоиндуцированную реализацию VEGF; в) ацидоз непрямо усиливает деградацию внеклеточного матрикса, «отдавая приказ» окружающим нормальным клеткам (фибробластам и макрофагам) продуцировать протеолитические ферменты; г) ацидоз ингибирует иммунные реакции организма на опухолевые антигены.

Выход протонов инициирует гиперстимуляцию различных электрогенных мембранно-связанных H<sup>+</sup>-транспортеров, в первую очередь АТФ-зависимых транспортеров. Белки из семейства ABC-транспортеров (ATP Binding Cassette transporters, АТФ-зависимые транспортеры) являются наиболее изученным фактором, определяющим наличие у клетки феномена множественной лекарственной устойчивости. Данная группа объединяет трансмембранные протеины, связывающие АТФ и использующие энергию для транспортировки некоторых молекул через все виды клеточных мембран. Семейство подразделяется на подсемейства А, В, С, D, Е, F, и G в зависимости от структуры АТФ-связывающих доменов и в настоящее время насчитывает около 50 белков, 4 из которых имеют значение в развитии феномена МЛУ при ОМЛ.

## Материалы и методы

Объектом исследования служили бластные клетки от пациентов с острым лейкозом. Лейкоциты, выделенные из цельной крови (взятой до назначения лечения), культивировали в течение 48 ч в полной питательной среде RPMI-1640 (L-глутамин – 2 ммоль, пенициллин – 100 ЕД/мл, стрептомицин – 100 ЕД/мл, NEPEs – 25 ммоль, ЭТС – 10 %, NaHCO<sub>3</sub> – 2г/л) в инкубаторе при 5 % CO<sub>2</sub> (pH 7,2). После чего часть из них переносили в инкубатор с 10 % CO<sub>2</sub> (pH 6,8). Через 48, 72 и 96 ч оценивали пролиферативную активность. Подготовку проб осуществляли по протоколу: фиксация – отмывка – лизис РНК. После добавления красителя пропидиум иодида (50мкг/мл) осуществляли анализ на цитофлуориметре BD FACSCanto™ II. В качестве контроля использованы клетки линии hek 293.

При проведении цитотоксического теста линейные клетки hek 293 инкубировали в отсутствие (контроль) или в присутствии различных концентраций даунорубина в разных инкубаторах (pH 6,8 и 7,2). После 48 ч культивирования клеток и исследуемых препаратов в питательной среде при 37° С во влажной атмосфере, содержащей 5 % CO<sub>2</sub>, в каждую лунку добавили 3-[4,5-диметилтиазолил-2-ел]-2,5-дифенилтетразолиум бромид (МТТ). Через 4 ч экспозиции при 37° С живые клетки восстанавливают желтый МТТ до темно-фиолетовых гранул формазана. Гранулы формазана растворяются в диметилсульфоксиде (ДМСО), количество восстановлен-

ного продукта измеряли на микропланшетном анализаторе (фотометре) Ридер 680 (BioRad) при длине волны 540 нм. LD<sub>50</sub> рассчитывали графически по дозозависимой кривой.

Обработку и анализ полученных данных проводили с помощью стандартной прикладной программы Microsoft Excel 2010.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки различий в пролиферативной активности использовали индекс ДНК. Это отношение количества ДНК в первом пике G0/G1 для лейкозных клеток к количеству ДНК в нормальных клетках (принимают за 100).

**Таблица 1.** Индекс ДНК в нормальных и гиперкапнических условиях

№	48 ч		72 ч		96 ч	
	5 % CO2	10 % CO2	5 % CO2	10 % CO2	5 % CO2	10 % CO2
hek	0,70	1,50	0,75	1,99	1,55	1,62
1	2,01	2,25	1,00	1,60	1,05	1,70
2	1,10	0,85	1,30	1,75	0,85	0,60
3	0,80	0,90	0,90	1,10	1,10	1,05
4	1,00	1,05	0,90	0,95	0,52	0,47
5	0,20	0,40	0,30	1,20	1,36	1,33
6	0,20	0,35	1,30	1,35	0,52	0,45
7	1,10	0,90	1,15	1,20	1,30	1,40

В большинстве случаев пролиферативная активность возрастает в условиях гиперкапнии (pH 6,8) и достигает максимума на третьи сутки культивирования. При дальнейшем культивировании различия снижаются. Возможно, это связано с истощением среды в процессе культивирования. Либо pH достигает некоего критического уровня, при котором клетки уже не могут нормально существовать.

Выживаемость клеток в среде с различными концентрациями даунорубицина рассчитывали по формуле:

$$(\text{ОП опытных лунок} - \text{ОП среды} / \text{ОП контр. лунок} - \text{ОП среды}) \times 100 \%,$$

где ОП – оптическая плотность.

**Таблица 2.** Процент выживаемости клеток hek в нормальных и гиперкапнических условиях

	0,5	1	1,5	2	2,5	3
pH 7,2	58	57	56	32	9	0
pH 6,8	93	53	40	3	2	0

LD<sub>50</sub> для даунорубицина в нормальных условиях составила 0,70 мкг/мл и 1,75 мкг/мл в условиях гиперкапнии.

## **Выводы**

Культивирование опухолевых клеток в условиях гиперкапнии увеличивает пролиферативную активность клеток от разных пациентов в различной степени; также наблюдается повышенная резистентность к цитостатику. Оценку гиперкапнического стимула пролиферативной активности можно предложить в качестве прогностического теста определения индивидуальных особенностей развития заболевания.

УДК 591.111.1

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ И СЕКРЕЦИЮ ГРАНУЛ ТРОМБОЦИТОВ**

**М.А. Столяр**

**Научные руководители Н.М. Титова, И.А. Ольховский**

*Сибирский федеральный университет*

## **Введение**

Система свертывания крови обеспечивает в организме млекопитающих предотвращение кровопотери при повреждении кровеносных сосудов. На сегодняшний день вполне очевидно, что тромбоцит является клеткой, активно синтезирующей гуморальные факторы, способствующие как образованию сгустков, так и воспалению. Активирование тромбоцитов – очень важный этап гемостатического процесса, так как он лежит в основе как нормального гемостаза, так и патологического образования тромбов и диссеминированного внутрисосудистого свертывания. В случае повреждения кровеносного сосуда тромбоциты подвергаются действию различных веществ, инициирующих процессы агрегации (склеивание тромбоцитов друг с другом) и адгезии (прилипание клеток к поврежденной поверхности), в результате которых образуется тромбоцитарная пробка. При активации тромбоцитов под влиянием коллагена и первых порций высвобождающегося АДФ, адреналина, тромбоксана  $A_2$  и тромбина происходит быстрая активация и дегрануляция все новых и новых кровяных пластинок, в силу чего в их «плазматической атмосфере» резко увеличивается количество эндогенных стимуляторов агрегации. Происходит дальнейшее лавинообразное усиление агрегации. Постоянное избыточное активирование тромбоцитов (гиперагрегация) является фактором риска развития тромбозов, хронического воспалительного процесса в стенках сосудов и развития сердечно-сосудистых заболеваний. Нарушения в системе гемостаза ведут к

серьезным клиническим последствиям. В настоящее время в клинической практике для предотвращения этого патологического состояния широко используются различные дезагреганты, в том числе малые дозы ацетилсалициловой кислоты. Вместе с тем дисбаланс в регуляции гемостаза может сопровождаться как тромбозами, так и чрезмерными кровотечениями.

Антитромбоцитарная терапия сегодня общепризнанно является необходимым звеном полноценной схемы лечения пациентов с высоким риском сердечно-сосудистых катастроф. Хорошо известна роль аспирина в профилактике инфаркта миокарда и инсульта. Высокая эффективность аспирина в предотвращении тромботических осложнений сердечно-сосудистых заболеваний оправдывает его широкое применение в кардиологической практике. Однако в ходе последних исследований было показано, что не у всех пациентов удается достичь адекватного снижения агрегации тромбоцитов и предотвратить повторный тромбоз. Развитие инсультов, инфаркта миокарда или других тромботических событий у пациентов, длительно принимающих аспирин, является следствием аспиринорезистентности (нечувствительности к аспирину). Распространенность этого явления, по данным ряда авторов, составляет от 5 до 48 %.

Одновременно накапливаются данные о нарастании числа геморрагических осложнений при приеме ацетилсалициловой кислоты, в том числе профузных желудочных кровотечениях и геморрагических инсультах.

Миллионы людей по всему миру принимают АСК (ацетилсалициловая кислота), поэтому нетрудно себе представить, какое значение этот феномен имеет для практической медицины, ведь, по сути, многие пациенты оказываются без адекватной антиагрегантной терапии, но при этом рискуют развитием серьезных для жизни осложнений. Дезагреганты назначаются по жестким схемам, не учитывающим индивидуальные особенности больного, основным ориентиром для врача является отсутствие противопоказаний. К сожалению, стандартизированного параметра, по которому можно было бы однозначно судить о гиперактивности тромбоцитов и степени ее изменения на фоне антиагрегантных препаратов, в настоящее время не существует. Необходимо проведение комплексных функциональных исследований, в том числе с использованием современных молекулярных технологий.

Одной из важнейших проблем, возникающих при попытке каким-либо образом измерить (оценить) степень ингибирования функции тромбоцитов после воздействия фармакологических агентов состоит в том, что ни один из существующих лабораторных тестов не включает в себя всю многогранность биологии и функции тромбоцитов. Нет единого критерия оценки функции тромбоцитов, который мог бы отразить все сложные, многообразные и интегрированные пути (механизмы) реализации этих функций. Существуют запатентованные методы диагностики аспиринорезистентности на агрегометре импедансным и оптическим методами, но они

не дают полной картины состояния тромбоцитарного гемостаза. Для сравнения, аналогичное измерение при помощи оптического агрегометра на плазме, обогащенной тромбоцитами, пропускает 67 % пациентов с дефектом накопления и угрозой длительных кровотечений. Одновременное измерение реакции высвобождения тромбоцитарных гранул позволяет глубже понять механизмы агрегационного ответа.

Цель настоящей работы – определение влияния ацетилсалициловой кислоты на секрецию АТФ при активации тромбоцитов.

### **Материалы и методы**

В качестве объекта исследования использовалась цельная кровь пациентов больницы КНЦ СО РАН и добровольцев.

В работе применялся агрегометр корпорации CRONOLOG 700, работающий для образцов цельной крови и плазмы и использующий современные виды детекции: электронно-импедансный метод и люминесцентный метод. При люминесцентном измерении одновременно с агрегацией тромбоцитов можно исследовать и другие процессы, например процессы секреции гранул, что позволяет обнаруживать приобретённые либо врожденные качественные дефекты тромбоцитов и своевременно начинать лечение.

Измерение агрегации проводилось на агрегометре CRONOLOG люминесцентным методом в цельной крови. Основной принцип действия люми-агрегометра – измерение секреции внеклеточного АТФ при помощи чувствительной люминесцентной пробы с синхронным измерением агрегации. АТФ, высвобождаемый при грануляции тромбоцитов, связывается реагентом CHRONOLUMЕи излучает кванты света.

### **Результаты и их обсуждение**

Установлен характер влияния АСК на секрецию АТФ из гранул тромбоцитов и на их агрегацию (см. рис.1, табл.1).

### **Выводы**

Инкубация образца с АСК *invitro* снижает как агрегацию тромбоцитов и интенсивность реакции высвобождения АТФ из гранул. При этом могут наблюдаться индивидуальные особенности в характеристиках кривых оптического поглощения, импеданса и интенсивности люминесценции. Таким образом, в работе показана важность комбинированного использования оценки параметров агрегационных характеристик и динамики секреции содержимых гранул тромбоцитов для оценки степени «аспиринорезистентности» конкретного индивидуума. Необходима дальнейшая работа по стандартизации метода с целью получения более полной и точной диагностической возможности выявления нарушений функции тромбоцитов.

**Таблица 1.** Изменение агрегационных свойств тромбоцитов при добавлении АСК

Метод	Индуктор	Кол-во проб	% снижения агрегационной реакции после добавления АСК, $\bar{X}$	% снижения интенсивности реакции высвобождения АТФ после добавления АСК, $\bar{X}$
Люминесценция в цельной крови	Коллаген	7	60,3	59,1



а



б

Рис. 1. Агрегационный ответ тромбоцитов с люминесценцией в цельной крови без инкубации (а) и с инкубацией с АСК (б)

УДК 57.085.23

## КОНСТРУИРОВАНИЕ МАТРИКСОВ ИЗ ПГА ДЛЯ ЗАДАЧ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ

**Д.А. Чернобровкина**

**Научный руководитель Е.И. Шишацкая**

*Сибирский федеральный университет*

Актуальная область современных биомедицинских технологий – тканевая инженерия, разрабатывающая подходы к лечению повреждённых тканей и органов, альтернативные существующим. Эквиваленты тканей и

органов, создаваемые методами тканевой инженерии, представляют собой сложные конструкции из функционирующих клеток, закрепленных на каркасах. К имплантируемым в организм человека клеточным носителям предъявляются высокие требования. Поэтому ключевой задачей, которую необходимо решить для успешной реконструкции, является разработка адекватных матриц.

Среди материалов, применяемых для конструирования матриц – металлы, керамика, полимеры, композиты – большим потенциалом обладают полигидроксиалканоаты (ПГА). Это класс биосовместимых и биodeградируемых полиэфиров микробиологического происхождения.

Цель нашей работы – конструирование из ПГА матриц различной геометрии и структуры и исследование их физико-химических и биологических свойств в качестве потенциальных клеточных носителей для тканевой инженерии.

Для исследований были выбраны образцы двухкомпонентного сополимера 3-гидроксибутирата и 3-гидроксивалерата (ПЗГБ/ЗГВ) с включением ЗГВ 9,8 мол. %, полученные в лаборатории хемоавтотрофного биосинтеза Института биофизики СО РАН. Штамм-продуцент – *Wautersiaeutropha* B5786. Величина средневесовой молекулярной массы полимера – 1115 кДа, степень кристалличности – 50 %, температура плавления – 162 °С.

Двухмерные матрицы получали методом полива раствора ПГА в дихлорметане на обезжиренную поверхность чашек Петри. Для придания пористости матрицам применяли технику выщелачивания (порообразующий агент – фруктоза). Объемные полимерные матрицы получали методом прямого холодного прессования на автоматическом прессе Calver (США) под давлением 120 кгс/см<sup>2</sup>. Для получения пористых форм в качестве порообразующего агента использовали полиэтиленгликоль в содержании 20 % по массе от навески полимера.

Среди требований, предъявляемых к физико-механическим характеристикам матриц, обязательным является сочетание достаточной механической прочности и высокой пористости изделия, а также благоприятные свойства поверхности для адгезии клеток. Оценку поверхностных свойств матриц проводили на базе измерения контактных углов смачивания водой, на основе которых находили поверхностные характеристики: свободную поверхностную энергию ( $\gamma_S$ ), свободную энергию межфазовой поверхности ( $\gamma_{SL}$ ) и величину сил сцепления (WSL) (эрг/см<sup>2</sup>). Физико-механические характеристики матриц определяли на универсальной электромеханической испытательной машине Instron (Великобритания).

Влагопоглощение и суммарную пористость матриц определяли методом, основанным на замещении пор жидкостью. На первом этапе взвесили сухие образцы. Затем их экспонировали в дистиллированной воде

на магнитной мешалке в течение часа. После этого избыток жидкости с образцов удаляли при помощи воронки Бюхнера.

Влагопоглощение определяли следующим образом:

$$EWC = (W_s - W_d) / W_s \cdot 100,$$

где  $W_s$  – вес влажного образца,  $W_d$  – вес осушенного образца.

Суммарную пористость определяли по формуле:

$$V_{\Sigma} = \frac{G_w - G_d}{G_d \cdot \rho_w} \text{ (см}^3\text{/г)},$$

где  $G_w$  – вес влажного образца,  $G_d$  – вес сухого образца,  $\rho_w$  – плотность воды, принятая за 1 г/см<sup>3</sup>.

Цитотоксичность матриц оценивали на клеточной линии эмбриональных фибробластов мыши NIH 3T3. Исходная плотность посева составляла 10<sup>3</sup> клеток на матрикс. Интенсивность клеточной пролиферации оценивали в МТТ-тесте – методе, основанном на способности митохондриальных дегидрогеназ восстанавливать 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенилтетразол бромид до формазана и говорит об активности митохондрий клеток. Подсчёт клеток и определение их морфологии проводили после окрашивания клеток по методу Романовского-Гимза. Кроме того, проводили флуоресцентное окрашивание клеток с использованием красителя DAPI. Морфологию клеток также исследовали с применением растровой электронной микроскопии.

Получено семейство полимерных матриц и исследованы свойства поверхности. Величина контактного угла смачивания поверхности матриц водой была на уровне 53,9°-68,9° с минимальным значением у объёмных пористых матриц. Это позволяет характеризовать поверхностные свойства исследуемых типов матриц благоприятными, так как установлено, что средняя гидрофобность поверхности (величины краевого угла смачивания до 70°) оптимальна для адгезии клеток.

Влагопоглощение составило 0,98 % для плотных матриц и 3,02 % для пористых, суммарная пористость 0,025 г/см<sup>3</sup> для плотных матриц и 0,13 г/см<sup>3</sup> для пористых. Исследование микроструктуры поверхности пористых матриц показало наличие многочисленных пор разного диаметра.

Полученные прессованные матрицы имели следующие физико-механические характеристики: абсолютная прочность – 23,5±2,12 МПа, модуль Юнга 2901±300 МПа, что уступает показателям нативной костной ткани конечностей. Повысить прочностные характеристики можно добавлением гидроксиапатита (ГАП). Механически прочные композиты ПГА с ГАП кроме того имеют улучшенные остеointegrative свойства.

Данные, полученные в МТТ-тесте (рис.1), показали отсутствие цитотоксического эффекта со стороны матриц при прямом контакте с фибробластами. Количество клеток на полимерных матриксах на всех этапах культивирования было сопоставимо с контролем (полистирол).

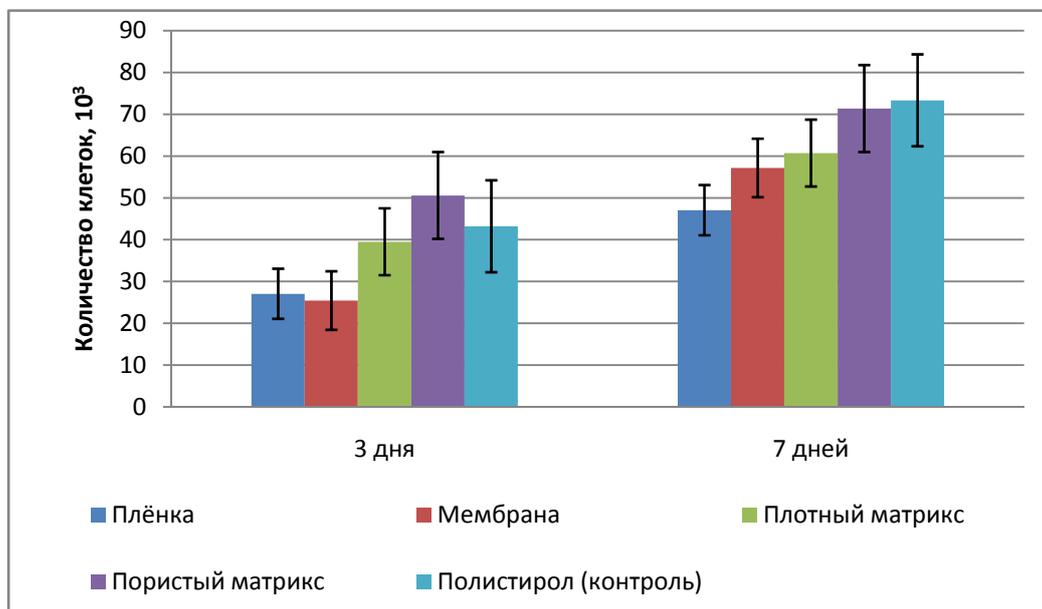


Рис. 1. Количество физиологически активных фибробластов линии NIH 3T3

Адгезионные свойства матриц исследовали после окрашивания по методу Романовского-Гимза. Подсчет прикрепленных клеток, на всех сроках наблюдения не выявил достоверного отличия ( $p=0,05$ ) в количестве прикрепленных клеток на контроле по сравнению с ПГА-матриксами (рис. 2).

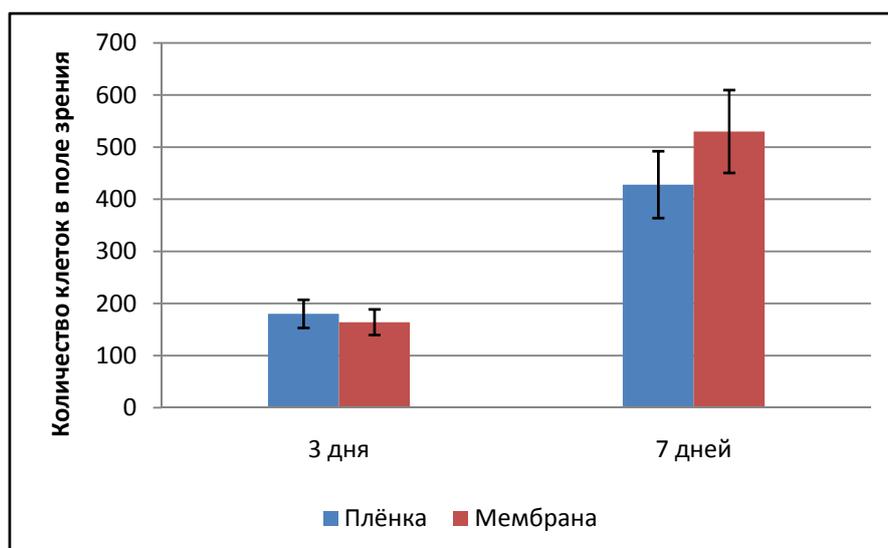


Рис. 2. Количество адгезированных фибробластов линии NIH 3T3

Через трое суток количество клеток в поле зрения составило для плёнок  $180 \pm 50$ , для мембран  $164 \pm 56$ , через семь суток –  $428 \pm 68$  и  $530 \pm 70$  для плёнок и мембран соответственно. Эти показатели близки к контролю, т.е. двумерные полимерные матриксы обоих типов не оказывали цитотоксического действия, их поверхность благоприятна для адгезии клеток и их дальнейшего роста. Анализ морфологии показал, что прикрепленные клетки были в активном состоянии, о чём свидетельствует их звездчатая форма, хорошая распластанность по поверхности (рис. 3).

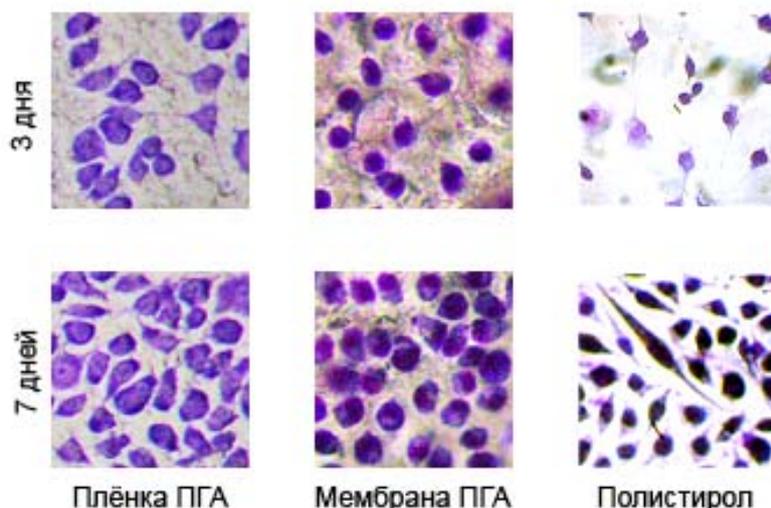


Рис. 3. Изображение фибробластов линии NIH 3T3, окрашенных по методу Романовского-Гимза

Результаты флуоресцентного окрашивания DAPI подтверждают полученные данные.

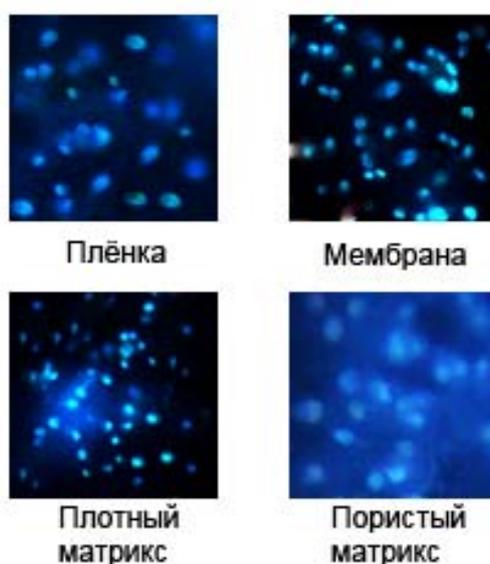


Рис. 4. Изображение фибробластов мыши линии NIH 3T3, окрашенных DAPI

Таким образом, проведенная *invitro* оценка биосовместимости изготовленных из ПГА матриксов на примере фибробластов мышцы линии NIH 3T3 показала отсутствие цитотоксического эффекта у матриксов всех типов, что позволяет сделать вывод о принципиальной возможности их использования в качестве носителей в тканевой инженерии.

УДК 591.95

## **МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА РОСТА ОКУНЯ И ЕЕ ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ**

**Н.О. Яблоков**

**Научный руководитель И.В. Зув**

*Сибирский федеральный университет*

Изучение закономерностей и особенностей роста рыб несет в себе большое научное и практическое значение. Изменчивость роста рыб тесно связана с вопросами оценки состояния пресноводных экосистем и разработкой методов экологического прогнозирования. Оценка ростовых показателей промысловых рыб в отдельных водоемах предполагает моделирование динамики численности и формирование представлений о пластичности популяции к условиям среды, в связи с этим вопросы роста и размерно-возрастной структуры популяции всегда привлекали внимание исследователей [1].

Темп роста считается основным механизмом адаптации вида и популяции в целом к условиям существования в водоеме. Факторами, влияющими на размерные характеристики популяции, являются в первую очередь состав и численность кормовых объектов, численность пищевых конкурентов и хищников, собственная численность, промысел и др. [2]. Интерпретация данных факторов и оценка их действия является одной из главнейших задач в мониторинге ихтиофауны и окружающей среды в целом.

С точки зрения факторов, влияющих на темпы роста, наиболее динамичная система – водохранилища, так как создание искусственных водоемов подразумевает под собой координальное изменение условий обитания (изменение структуры дна, теплового, гидрохимического режимов и др.), что приводит к перестройке структуры сообщества. Последствием зарегулирования проточных водоемов является постепенная смена реофильного комплекса в сторону лимнофильного, что чаще всего сопровождается сокращением видового разнообразия ихтиоценоза и резким снижением численности ценных видов рыб [3]. На территории Красноярского края одним из крупнейших является Красноярское водохранилище, ихтиоценоз

которого в течение сорока лет своего существования претерпевает значительные изменения, как по видовому составу, так и по показателям роста отдельных видов рыб [4].

В настоящей работе объектом исследования выступал речной окунь *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758, который, по данным официального промысла, занимает доминирующее положение в ихтиофауне Красноярского водохранилища и населяет все заливы и прибрежные участки плесов. Целью работы являлась оценка многолетней динамики роста популяции окуня Красноярского водохранилища.

## Материалы и методы

Материалами для данной работы послужили пробы, собранные в составе экспедиции ФГБНУ «НИИ ЭРВ», проходившей в августе 2011 г. в районе пос. Приморск Балахтинского района Красноярского края.

Ихтиологический материал отбирался из уловов завода «Руслов» с заливов Точильный, Сисим, Огур. Также проводился самостоятельный облов посредством постоянного набора ставных жаберных сетей с ячейей от 25 до 50 мм. Длительность экспозиции составляла 1/2 суток.

Помимо этого в ходе работы были использованы выборки, собранные сотрудниками СФУ на Красноярском водохранилище с участков Приморский плес (1983 г.), залив Кома (1993 г.) и залив Сисим (2000 г.). При отборе проб обращалось внимание на принадлежность места сбора к средней части водохранилища как участка с наиболее стабильными лимническими условиями обитания [4], с целью уменьшения разброса значений внутри выборки.

При сборе и обработке ихтиологического материала применялись стандартные, общепринятые методики [5]. Возраст рыб определялся по основной кости жаберной крышки. Для проб с заливов Точильный и Сисим была применена ретроспективная оценка роста методом обратных расчислений. Данная методика необходима для реконструкции темпа роста генерации в годы, предшествующие контрольному улову. По мнению П.Н. Барановского [6], такой подход имеет ряд преимуществ: полученные данные содержат сведения о недостающих возрастных группах, осредненные длины в пределах одной возрастной группы тождественны средним многолетним значениям, расчисленные длины соответствуют времени закладки годового кольца. Ретроспективный анализ предполагает несколько моделей зависимости роста рыбы от размера регистрирующей структуры. После проведения корреляционного анализа (см. рис. 1) мы пришли к выводу о линейности зависимости, а значения коэффициентов а уравнения регрессии (0,03 и 1,57 соответственно) позволяют сделать предположение о том, что закладка жаберной крышки происходит в первые дни жизни организма.

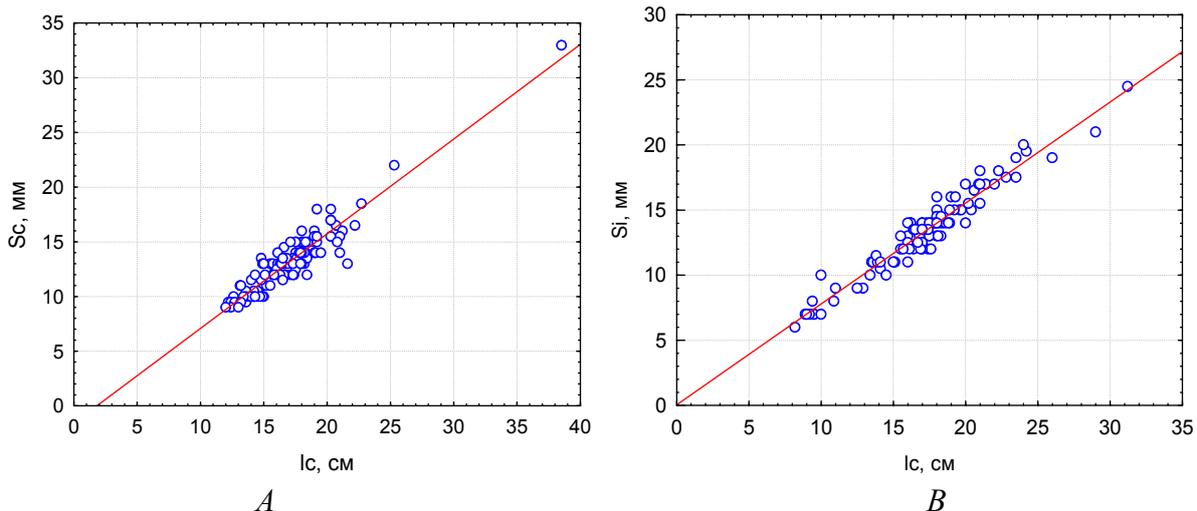


Рис. 1. Зависимость роста рыбы от размера регистрирующей структуры:  
 А – залив Сисим, 2000 ( $R = 0,94$ ); В – залив Точильный, 2011 ( $R = 0,97$ )

В связи с этим в расчетах использовалась формула линейной зависимости между длиной тела и регистрирующей структурой (Dahl-Lee):

$$L_i = (S_i/S_c) * L_c,$$

где  $S_i$  – размер регистрирующей структуры в  $i$  лет,  $S_c$  – размер регистрирующей структуры в момент поимки,  $L_c$  – длина тела особи в момент поимки,  $L_i$  – длина тела рыбы в  $i$  лет [7].

Измерения регистрирующей структуры проводились штангенциркулем и записывались с точностью до 1 мм. В общей сложности измерению были подвержены жаберные крышки 212 экз. окуня.

Статистическая обработка данных и построение графических изображений выполнены с использованием программ пакета Statistica 6.0 и MS Office для Windows. Все расчеты велись по промысловой длине.

### Результаты и обсуждения

В пробах были встречены особи в возрасте от 1+ до 10+ лет, основную массу во всех рассмотренных выборках составили трех, четырех и пятилетние особи. В популяции окуня самки количественно преобладают над самцами и составляют около 70 % популяции. Линейные размеры тела окуня варьировали от 8,2 до 38,5 см. Достоверных различий по размерным показателям между самками и самцами выявлено не было, что позволило в дальнейшем использовать смешанные по половому составу выборки. Средние значения длин для рассмотренных выборок приведены на рис. 2.

В полученных данных не было обнаружено существенных различий в темпах роста для различных возрастных групп. Однако значительные временные промежутки между рассмотренными пробами не позволяют детально пронаблюдать изменения внутри популяции. В связи с этим для бо-

лее точного анализа динамики линейных показателей на основе результатов ретроспективного анализа были построены кривые роста, охватывающие генерации окуня 1990 – 2000 и 2003 – 2011 гг. (см. рис. 3), исключая 1991 и 2004 гг.

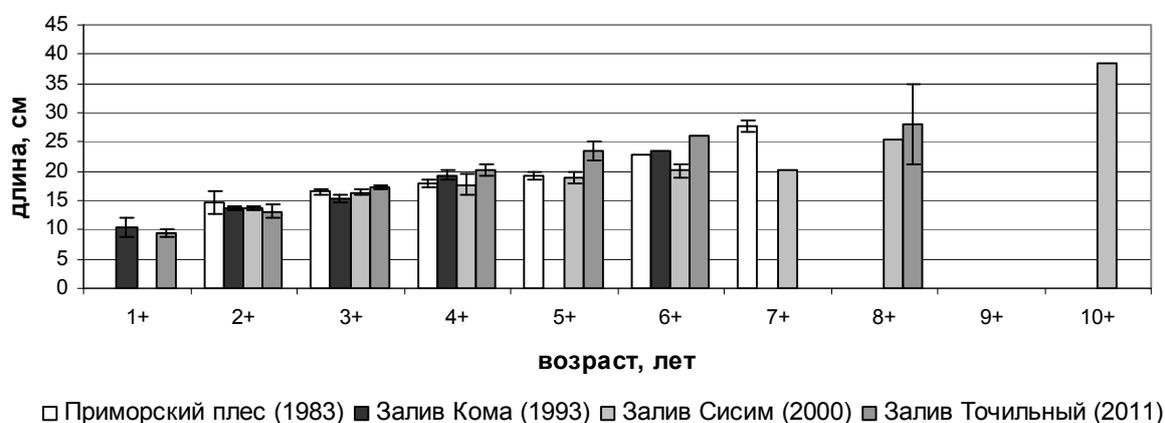


Рис. 2. Линейный рост окуня средней части Красноярского водохранилища

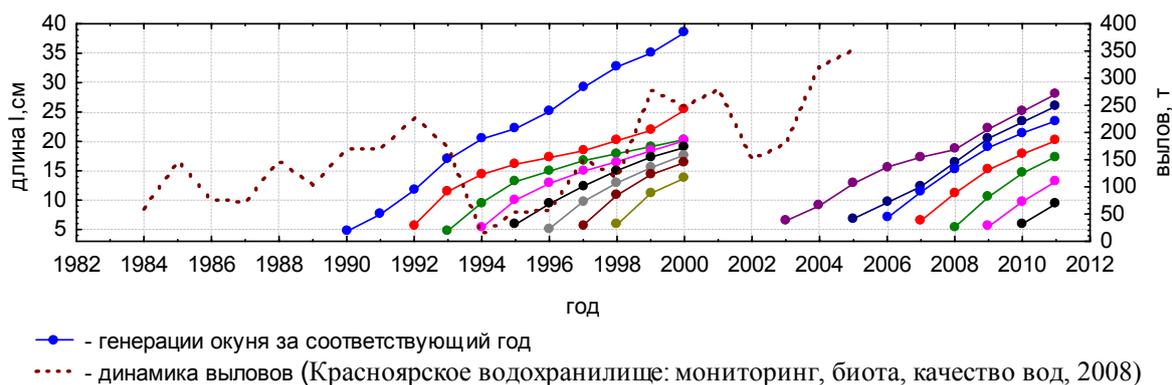


Рис. 3. Кривые роста генераций окуня 1990-2010 гг.

При сравнении линейных показателей с выловами окуня в соответствующие годы было замечено, что после периодов времени с наиболее низкими уловами (1994 – 1996) произошло резкое сокращение скорости роста, а в последующие годы наблюдается постепенное выравнивание показателей роста. Причем данная зависимость прослеживается как у рыб младших возрастных групп (0+ – 2+), основу питания которых составляют зоопланктон и бентические организмы, так и у половозрелых особей (3+ и более лет), употребляющих в пищу преимущественно рыбу. Линейный рост выборок 1983 и 1993 гг. имел практически одинаковые показатели и соответствовал темпам роста генерации 1990 гг.

Тем не менее резкое повышение тоннажа уловов в 2003 и последующих годах привело к снижению темпов роста особей старших возрастов, этот факт мы связываем с нехваткой кормовых ресурсов, прежде всего за

счет малой численности молоди данного вида, а также других промысловых рыб (леща и плотвы), рожденной в предыдущие годы.

## **Выводы**

Промысел играет большую роль в изменении скорости роста популяции. Учет многолетних изменений в размерных показателях рыб необходимо учитывать при прогнозах биологически безопасной интенсивности эксплуатации вида и нормировании выловов рыбопромысловых предприятий. Резкое снижение уловов приводит к увеличению численности популяции, что приводит к подрыву кормовой базы и, как следствие, обострению конкуренции внутри популяции. Бурный всплеск численности окуня является также одной из главных причин возникновения паразитических заболеваний, в том числе и опасных для человека. Чрезмерный вылов влияет гораздо в меньшей степени, так как окунь в связи с индифферентностью к нерестовому субстрату и отсутствием пресса со стороны хищников довольно быстро восстанавливает численность популяции, также для него отмечается довольно высокая пластичность по отношению к кормовым ресурсам [8].

Согласно полученным данным можно судить о незначительном изменении линейных показателей окуня в средней части водохранилища в течение последних 20 лет. Изменения темпов роста мы связываем, прежде всего, с ненормированными выловами, существенно повлиявшими на скорость роста популяции в целом.

## **Список литературы**

1. Буслов А.В. Рост минтая и размерно-возрастная структура его популяций. – Владивосток: КамчатНИРО, 2003. – 24 с.
2. Дгебуадзе Ю. Ю. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. – М.: Наука, 2001. – 276 с.
3. Купчинский А.Б. Состояние ихтиофауны водохранилищ Ангары, Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – Иркутск. – 2006. – № 2. – С. 56-61.
4. Красноярское водохранилище: мониторинг, биота, качество вод / под ред. А.Ф. Алимова; Красноярск: Сибир. федер. ун-т, 2008. – С. 247-249.
5. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) “Пищевая промышленность”. – М., 1966. – 377 с.
6. Барановский П. Н. Изменчивость роста окуня Калининградской области // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2010. – N 19. – С. 188-195.
7. Francis R. I. C. C. Back-calculation of fish length: a critical review J. Fish Biol. – 1990. – 36. – P. 883-902.
8. Никольский Г.В. Экология рыб. Высшая школа. – М., 1963. – 366 с.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК

УДК 735.29

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАЙНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

**Ш.А. Ахмедова**

**Научный руководитель Е.С. Семенкин**  
*Сибирский федеральный университет*

В работе исследовалась эффективность «стадного» алгоритма (Particle Swarm Optimization, PSO) на многокритериальных задачах условной и безусловной оптимизации. Было проведено сравнение результатов, полученных вещественным и бинарным PSO.

В общем виде многокритериальная задача оптимизации (МКО-задача) включает набор из  $N$  переменных, множество  $K$  целевых функций от этих переменных и множество  $M$  ограничений. При решении МКО-задачи необходимо найти оптимум по совокупности  $K$  критериев. В работе был применен «стадный» алгоритм для приближенного построения множества и фронта Парето. Для этого был создан архив, в котором сохранялись недоминируемые по Парето решения, обновляемый на каждой итерации. При использовании алгоритма PSO для решения МКО-задачи основной проблемой было то, какую позицию считать глобально лучшей позицией для частицы. Существует несколько алгоритмов решения этой проблемы, одним из которых является  $\sigma$ -алгоритм. Рассмотрим схему этого алгоритма на примере двухкритериальной задачи. В этом случае  $\sigma$ -параметром  $i$ -ой частицы с координатами  $x^i$  называется величина:

$$\sigma_i = \sigma(f(x^i)) = \frac{f_1^2(x^i) - f_2^2(x^i)}{f_1^2(x^i) + f_2^2(x^i)}.$$

В случае, когда размерность пространства критериев больше двух  $\sigma$ -алгоритм использует  $K$ -мерный вектор  $\sigma$ -параметров  $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_K)$ . Тогда для  $i$ -ой частицы:

$$\sigma_i = \sigma(f(x^i)) = \frac{((f_1^2(x^i) - f_2^2(x^i))(f_2^2(x^i) - f_3^2(x^i)) \dots (f_K^2(x^i) - f_1^2(x^i)))^T}{f_1^2(x^i) + f_2^2(x^i) + \dots + f_K^2(x^i)}$$

$\sigma$ -алгоритм использует архив недоминируемых решений (обозначим этот архив  $S$ ). В  $\sigma$ -алгоритме для  $j$ -ой частицы на каждой итерации глобально лучшая позиция в  $S$  определяется по следующему правилу:

1. Определяем  $\sigma$ -параметр  $j$ -ой частицы, т. е. вычисляем величину  $\sigma_i = \sigma(f(x^j))$ .

2. Находим в архиве частицу, у которой  $\sigma$ -параметр наиболее близок к величине  $\sigma_i$ :  $\min_i \|\sigma_j - \sigma_i\| = \|\sigma_j - \sigma_l\|$ , где  $\sigma_i$  –  $\sigma$ -параметр  $i$ -ой частицы из  $S$ ,  $\|\cdot\|$  – символ евклидовой нормы.

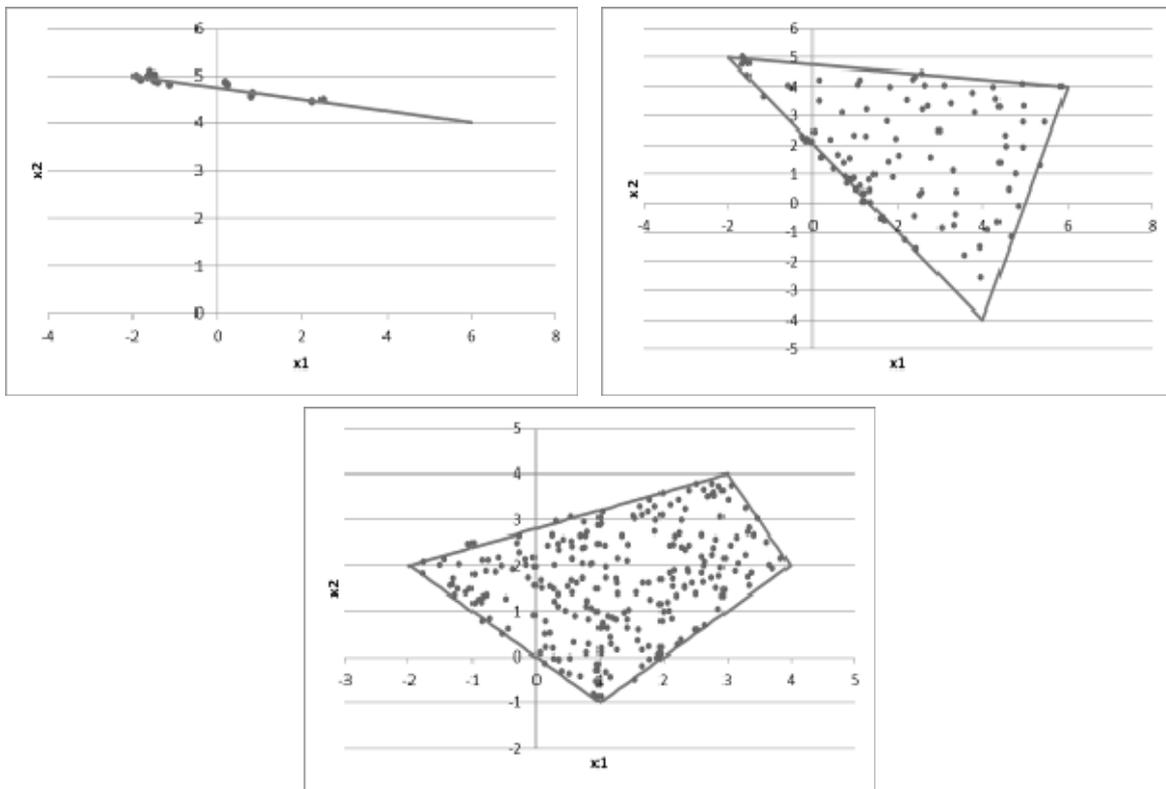
3. В качестве глобальной лучшей позиции для  $j$ -ой частицы принимаем вектор координат  $l$ -ой частицы.

Исследование эффективности «стаинового» алгоритма проводилось на тестовых задачах безусловной (№1-3) и условной (№4-7) оптимизации, описанных ниже.

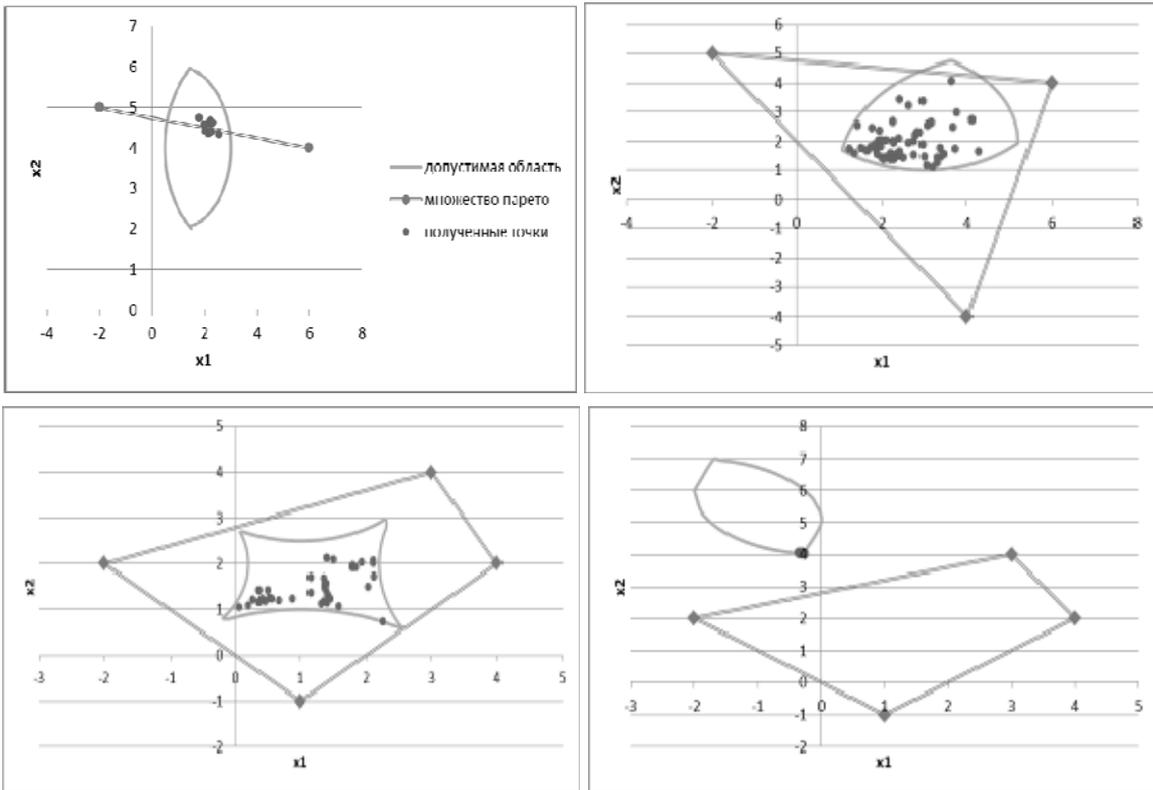
- |  |   |
|--|---|
| <p>1) <math>f_1(x, y) = (x - 6)^2 + (y - 4)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_2(x, y) = (x + 2)^2 + (y - 5)^2 \rightarrow \min</math></p>   | <p>2) <math>f_1(x, y) = (x - 6)^2 + (y - 4)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_2(x, y) = (x + 2)^2 + (y - 5)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_3(x, y) = (x - 4)^2 + (y + 4)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_3(x, y) = (x - 3)^2 + (y - 4)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_4(x, y) = (x - 4)^2 + (y - 2)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>\begin{cases} g_1(x, y) = (x - 1)^2 + (y - 4)^2 \leq 4 \\ g_2(x, y) = (x - 3)^2 + (y - 4)^2 \leq 6.25 \end{cases}</math><br/> <math>\begin{cases} g_1(x, y) = (x - 2)^2 + (y - 2)^2 \leq 10.24 \\ g_2(x, y) = (x - 5)^2 + (y - 1)^2 \leq 16 \\ g_3(x, y) = (x - 3)^2 + (y - 4)^2 \leq 9 \end{cases}</math></p> |
| <p>3) <math>f_1(x, y) = (x - 1)^2 + (y + 1)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_2(x, y) = (x + 2)^2 + (y - 2)^2 \rightarrow \min</math></p>   | <p><math>\begin{cases} g_1(x, y) = (x + 1.8)^2 + (y - 2)^2 \geq 4 \\ g_2(x, y) = (x - 1)^2 + (y - 4.5)^2 \geq 4 \\ g_3(x, y) = (x - 5.2)^2 + (y - 2)^2 \geq 9 \\ g_4(x, y) = (x - 1)^2 + (y + 2)^2 \geq 9 \\ g_5(x, y) = (x - 1)^2 + (y - 2)^2 \leq 6.25 \end{cases}</math></p>   |
| <p>4) <math>f_1(x, y) = (x - 6)^2 + (y - 4)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_2(x, y) = (x + 2)^2 + (y - 5)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_1(x, y) = (x - 6)^2 + (y - 4)^2 \rightarrow \min</math></p>  | <p>5) <math>f_2(x, y) = (x + 2)^2 + (y - 5)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_3(x, y) = (x - 4)^2 + (y + 4)^2 \rightarrow \min</math></p>  |
| <p>6) <math>f_1(x, y) = (x - 1)^2 + (y + 1)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_2(x, y) = (x + 2)^2 + (y - 2)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_3(x, y) = (x - 3)^2 + (y - 4)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_4(x, y) = (x - 4)^2 + (y - 2)^2 \rightarrow \min</math></p> | <p>7) <math>f_1(x, y) = (x - 1)^2 + (y + 1)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_2(x, y) = (x + 2)^2 + (y - 2)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_3(x, y) = (x - 3)^2 + (y - 4)^2 \rightarrow \min</math><br/> <math>f_4(x, y) = (x - 4)^2 + (y - 2)^2 \rightarrow \min</math></p>  |

Для работы алгоритма было установлено максимальное число частиц, которое может храниться в архиве недоминируемых решений (для каждой задачи был установлен свой «размер» архива). Для задач условной оптимизации был применен метод динамических штрафов. При решении задач заполнялась лишь некоторая часть архива. Результаты показали, что с ростом числа критериев эффективность алгоритмов возрастала. Так, например, при решении задач условной оптимизации и вещественным, и бинарным «стайнными» алгоритмами архив недоминируемых решений заполнялся в среднем на 20-30 %. Преимущество вещественного PSO заключалось лишь во времени, потраченном на один прогон. И вновь результаты алгоритмов существенно не отличались. Количество частиц и поколений было примерно таким же, как и при решении задач безусловной оптимизации. Решение 4-ой задачи условной оптимизации, особенность которой заключается в том, что в допустимой области нет ни одной точки из множества Парето, потребовало заметного увеличения размера популяции, и в конечном итоге были получены точки, находящиеся на той части границы допустимой области, которая была ближе всего к множеству Парето. Кроме того, результаты, полученные вещественным и бинарным PSO, почти не отличались. Ниже представлены полученные множества Парето для соответствующих задач с помощью PSO (для задач безусловной оптимизации кривые и фигуры на графиках – искомые множества Парето, точки – получены с помощью «стаинового» алгоритма).

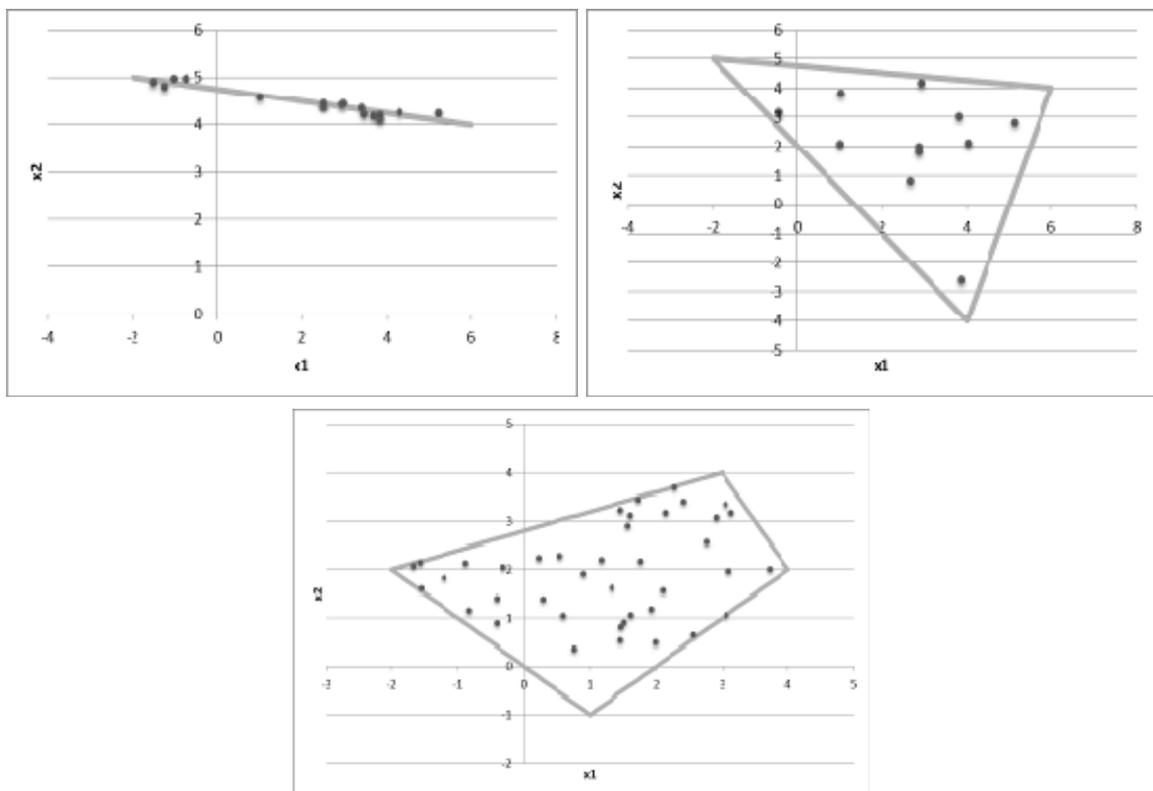
1) Задачи безусловной оптимизации (вещественный PSO):



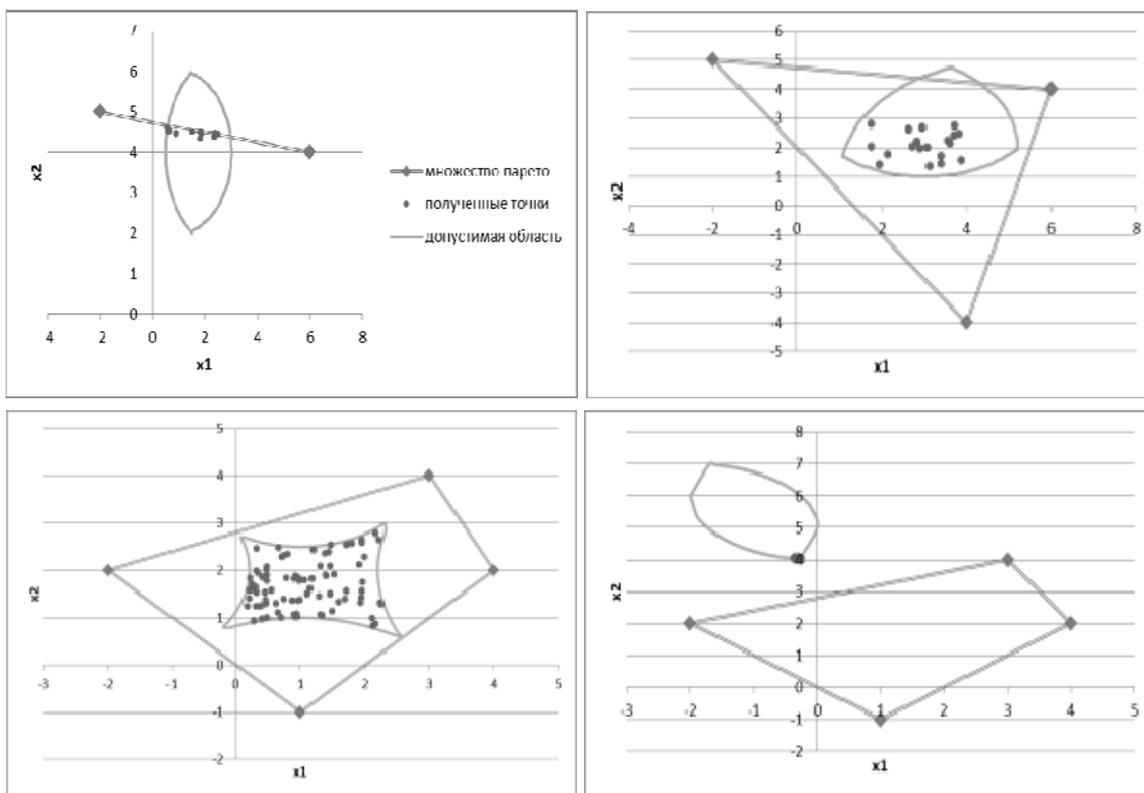
## 2) Задачи условной оптимизации (вещественный PSO):



## 1) Задачи безусловной оптимизации (бинарный PSO):



## 2) Задачи условной оптимизации (бинарный PSO):



УДК 511.17

### ОБ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ПРОГРЕССИЯХ ИЗ АЛИКВОТНЫХ ДРОБЕЙ

А.П. Биндиман, Д.А. Тарасов  
Научный руководитель Н.Н. Осипов  
МБОУ СОШ №10

#### Введение

На XXIX Международном Турнире Городов (2007/2008 уч. год, осенний тур) ученикам старших классов была предложена следующая

**Задача.** Найти все конечные непостоянные арифметические прогрессии, сумма которых равна единице и каждый член имеет вид  $k^{-1}$ , где  $k$  – натуральное число.

Дроби вида  $k^{-1}$ , где  $k$  – натуральное число, принято называть *египетскими* (другой, более распространённый термин – *аликвотные*). Такие дроби широко употреблялись в Древнем Египте, где других дробей, за не-

большим исключением, просто не знали. Как известно, любое рациональное число можно представить в виде суммы нескольких различных аликвотных дробей. Алгоритмы отыскания такого представления в своё время предложили *Фибоначчи* (1180 – 1240) и *М.В. Остроградский* (1801 – 1862).

Целью настоящей работы является решение следующей основной задачи: *найти все конечные непостоянные арифметические прогрессии из аликвотных дробей, сумма которых не менее заданного  $\varepsilon > 0$* . Более точно, мы хотим получить алгоритм, при помощи которого можно было бы перечислить все такие прогрессии.

Будем считать далее  $\varepsilon = N^{-1}$ , где  $N$  – заданное натуральное число. В первой части работы решается более простая задача: *найти все конечные непостоянные арифметические прогрессии из аликвотных дробей, имеющие заданную сумму  $N^{-1}$* . Пусть  $n \geq 2$  обозначает число членов искомым прогрессий. Мы доказываем оценку  $n = O(N^2)$ , в результате чего получаем алгоритм решения задачи, сложность которого  $O(N^4)$ . Отметим, что слишком эффективного алгоритма здесь ожидать не приходится, поскольку уже частный случай двучленных прогрессий эквивалентен вычислительно сложной задаче об отыскании всех решений  $(k_1, k_2)$  в натуральных числах уравнения

$$\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} = \frac{1}{N}.$$

Вторая часть работы посвящена решению основной задачи. Случай двучленных прогрессий не особенно интересен, поэтому считаем  $n \geq 3$ . Благодаря новой идее нам удалось улучшить оценку для  $n$  и доказать, что  $n = O(\log N)$ . Это является основным теоретическим результатом работы. На основе этого результата мы получили алгоритм решения основной задачи со сложностью  $O(N^2 \log N)$ .

## 1. Арифметические прогрессии из аликвотных дробей

**с суммой  $S = N^{-1}$**

Рассмотрим случай чётного  $N = 2b$  (случай нечётного  $N$  рассматривается аналогично). Пусть  $\{k_i^{-1}\}$  – убывающая  $n$ -членная арифметическая прогрессия и

$$\frac{1}{k_1} + \dots + \frac{1}{k_n} = \frac{1}{2b}.$$

Тогда справедливо равенство

$$\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_n} = \frac{1}{bn}, \quad (1)$$

откуда следует, что  $k_1 = bn + 1 + c$  для некоторого целого неотрицательного  $c$ . Можно показать, что справедливо неравенство  $k_n \geq k_1 + n(n-1)/2$  (это – ключевая идея; доказательство неравенства см. в полной версии работы), так что

$$k_n \geq bn + 1 + c + \frac{n(n-1)}{2}.$$

Вместе с равенством (1) это позволяет получить оценку  $c \leq 2b^2 - 1$ . В свою очередь из этой оценки вытекает оценка для числа членов прогрессии:  $n \leq 2b^2 + b$  (подробный вывод этих оценок см. в полной версии работы). Перебирая теперь все пары  $(c, n)$  в указанных границах, мы находим все искомые прогрессии. Поскольку  $c = O(N^2)$  и  $n = O(N^2)$ , сложность такого алгоритма составит  $O(N^4)$ .

Этот алгоритм был реализован в системе компьютерной алгебры MAPLE. Эксперименты с программой показали, что время её работы действительно растёт пропорционально  $N^4$ , т.е. при увеличении  $N$  в 2 раза время выполнения возрастает примерно в 16 раз.

## 2. Арифметические прогрессии из аликвотных дробей

с суммой  $S \geq N^{-1}$

Назовём прогрессию  $\{k_i^{-1}\}$  *невыносимой*, если все знаменатели  $k_i$  взаимно просты в совокупности. Очевидно, достаточно найти все невыносимые прогрессии  $\{k_i^{-1}\}$  с суммой

$$S = \frac{1}{k_1} + \dots + \frac{1}{k_n} \geq \frac{1}{N}.$$

Перейдём к прогрессии  $\{a_i\}$ , где

$$a_i = \frac{\text{НОК}(k_1, \dots, k_n)}{k_i} = a + (i-1)h, ,$$

при этом  $\text{НОД}(a, h) = 1$ . Имеем

$$S = \text{НОК}(a_1, \dots, a_n)^{-1} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{n(2a + (n-1)h)}{2\text{НОК}(a, a+h, \dots, a+(n-1)h)} \geq \frac{1}{N}.$$

Таким образом, задача сводится к оценке снизу величины

$$M_n(a, h) = \text{НОК}(a, a+h, \dots, a+(n-1)h)..$$

Это и есть та новая идея, о которой шла речь во введении.

Как оказалось, вопрос об оценке величины  $M_n(a, h)$  достаточно хорошо изучен (см., например, работы [1], [2]). Далее мы будем опираться на оценку

$$M_n(a, h) \geq a(h+1)^{n-1}. \quad (2)$$

из работы [2]. В качестве иллюстрации методов её получения докажем эту оценку в частном случае, когда  $h = 1$ .

Величину  $M_n(a, 1)$  можно оценить следующим образом:

$$M_n(a, 1) \geq \frac{a(a+1)\dots(a+n-1)}{(n-1)!} = C_{a+n-1}^{n-1}.$$

Действительно, имеем

$$\frac{1}{C_{a+n-1}^{n-1}} = \int_0^1 x^{a-1} (1-x)^{n-1} dx = \frac{c_0}{a} + \frac{c_1}{a+1} + \dots + \frac{c_{n-1}}{a+n-1} = \frac{L}{M_n(a, 1)},$$

где  $L$  – некоторое целое число. Отсюда следует, что  $M_n(a, 1)$  делится на  $C_{a+n-1}^{n-1}$ , а значит, не меньше, чем  $C_{a+n-1}^{n-1}$ . Теперь уже сравнительно нетрудно получить искомую оценку

$$M_n(a, 1) \geq 2^{n-1} a.$$

В общем случае доказательство оценки (2) технически сложнее и требует больших усилий (в полной версии работы мы приводим, следуя [2], подробное доказательство этой оценки). Используя оценку (2), мы приходим к следующему неравенству:

$$\frac{1}{N} \leq \frac{n(2a + (n-1)h)}{2a(h+1)^{n-1}} \quad (3)$$

для определения параметров  $n$ ,  $h$  и  $a$  (именно в таком порядке мы их будем оценивать).

Из неравенства (3) следуют оценки

$$\frac{1}{N} \leq \frac{n^2}{2(h+1)^{n-2}} \leq \frac{n^2}{2^{n-1}}.$$

Отсюда находим  $n = O(\log N)$ . Теперь, используя неравенство

$$M_n(a, h) \geq \frac{a(a+h)\dots(a+(n-1)h)}{(n-1)!}$$

(доказательство этого неравенства см. в работе [2]), можно оценить параметры  $h$  и  $a$ . В итоге приходим к окончательной оценке сложности алгоритма в виде  $O(N^2 \log N)$ .

Этот алгоритм также был реализован в системе компьютерной алгебры MAPLE. Так, например, при  $N=10$  получаем следующий список искомых прогрессий:

$$\begin{aligned} 1 &= \left\{ \left[ \frac{1}{6}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2} \right] \right\}, \frac{5}{6} = \left\{ \left[ \frac{1}{12}, \frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3} \right] \right\}, \frac{3}{4} = \left\{ \left[ \frac{1}{6}, \frac{1}{4}, \frac{1}{3} \right] \right\}, \frac{3}{5} = \left\{ \left[ \frac{1}{15}, \frac{1}{5}, \frac{1}{3} \right] \right\}, \\ \frac{3}{7} &= \left\{ \left[ \frac{1}{28}, \frac{1}{7}, \frac{1}{4} \right] \right\}, \frac{3}{8} = \left\{ \left[ \frac{1}{20}, \frac{1}{8}, \frac{1}{5} \right] \right\}, \frac{7}{20} = \left\{ \left[ \frac{1}{60}, \frac{1}{30}, \frac{1}{20}, \frac{1}{15}, \frac{1}{12}, \frac{1}{10} \right] \right\}, \\ \frac{1}{3} &= \left\{ \left[ \frac{1}{30}, \frac{1}{20}, \frac{1}{15}, \frac{1}{12}, \frac{1}{10} \right], \left[ \frac{1}{45}, \frac{1}{9}, \frac{1}{5} \right] \right\}, \frac{3}{10} = \left\{ \left[ \frac{1}{20}, \frac{1}{15}, \frac{1}{12}, \frac{1}{10} \right] \right\}, \\ \frac{3}{11} &= \left\{ \left[ \frac{1}{66}, \frac{1}{11}, \frac{1}{6} \right] \right\}, \frac{1}{4} = \left\{ \left[ \frac{1}{60}, \frac{1}{30}, \frac{1}{20}, \frac{1}{15}, \frac{1}{12} \right], \left[ \frac{1}{15}, \frac{1}{12}, \frac{1}{10} \right], \left[ \frac{1}{42}, \frac{1}{12}, \frac{1}{7} \right] \right\}, \\ \frac{7}{30} &= \left\{ \left[ \frac{1}{30}, \frac{1}{20}, \frac{1}{15}, \frac{1}{12} \right] \right\}, \frac{3}{13} = \left\{ \left[ \frac{1}{91}, \frac{1}{13}, \frac{1}{7} \right] \right\}, \frac{1}{5} = \left\{ \left[ \frac{1}{120}, \frac{1}{15}, \frac{1}{8} \right], \left[ \frac{1}{20}, \frac{1}{15}, \frac{1}{12} \right] \right\}, \\ \frac{3}{16} &= \left\{ \left[ \frac{1}{72}, \frac{1}{16}, \frac{1}{9} \right] \right\}, \frac{3}{17} = \left\{ \left[ \frac{1}{153}, \frac{1}{17}, \frac{1}{9} \right] \right\}, \frac{11}{70} = \left\{ \left[ \frac{1}{140}, \frac{1}{35}, \frac{1}{20}, \frac{1}{14} \right] \right\}, \\ \frac{16}{105} &= \left\{ \left[ \frac{1}{105}, \frac{1}{35}, \frac{1}{21}, \frac{1}{15} \right] \right\}, \frac{3}{20} = \left\{ \left[ \frac{1}{35}, \frac{1}{20}, \frac{1}{14} \right] \right\}, \frac{1}{7} = \left\{ \left[ \frac{1}{35}, \frac{1}{21}, \frac{1}{15} \right] \right\}, \\ \frac{1}{8} &= \left\{ \left[ \frac{1}{28}, \frac{1}{24}, \frac{1}{21} \right] \right\}, \frac{3}{28} = \left\{ \left[ \frac{1}{63}, \frac{1}{28}, \frac{1}{18} \right] \right\} \end{aligned}$$

УДК 519.1

## РАЗЛОЖЕНИЕ ГРАФА МИНИМАЛЬНЫМИ КЛИКОВЫМИ СЕПАТОРАМИ

**В.О. Болховец**

**Научный руководитель В.В. Быкова**

*Сибирский федеральный университет*

Идея разложения графа кликовыми сепараторами была предложена Р. Тарьяном как средство реализации подхода «разделяй и властвуй» для решения NP-трудных задач, базирующихся на отношениях смежности вершин графа. Процесс такого разложения заключается в многократном поиске в графе  $G = (V, E)$  кликового минимального сепаратора  $S$ , выделении компонент связности  $G(V \setminus S)$  и копировании  $S$  в эти компоненты. По-

лученные в результате части были названы атомами графа  $G$ . Было установлено, что атомы не разрушают клики исходного графа, не порождают новых клик и сохраняют бесхордовые циклы длины не более 3. Поэтому атомарное представление графа нашло применение в решении многих классических графовых задач: нахождение наибольшей клики, вычисление хроматического числа, определение наибольшего независимого множества вершин графа, поиск наименьшего пополнения графа до хордального, распознавание класса совершенных графов и др. Известно, что разложение графа на атомы уникально, если его осуществлять кликовыми минимальными сепараторами.

Множество вершин  $S$  связного графа  $G = (V, E)$  называется сепаратором этого графа, если граф  $G(V \setminus S)$  несвязен. Если при этом  $S$  – клика в  $G$ , то такой сепаратор считается кликовым сепаратором графа  $G$ . Уточним теперь, в каком смысле сепаратор графа минимальный. Рассмотрим в  $G = (V, E)$  сепаратор  $S$  и две несмежные вершины  $a, b \in V \setminus S$ . Сепаратор  $S$  образует  $(a, b)$ -сепаратор, если вершины  $a$  и  $b$  принадлежат разным компонентам связности графа  $G(V \setminus S)$  и минимальный  $(a, b)$ -сепаратор, если  $S$  –  $(a, b)$ -сепаратор и в нем нет собственного подмножества, являющегося  $(a, b)$ -сепаратором.

Например, пусть  $G = (V, E)$ ,  $V = \{1, 2, 3, 4\}$ ,  $E = \{(1, 2), (1, 4), (2, 3), (2, 4), (3, 4)\}$ ; Множество  $S = \{2, 4\}$  является сепаратором в  $G$ , так как  $G(V \setminus S) = (\{1, 3\}, \emptyset)$  несвязен. Заметим, также, что множество  $S$  образует полный граф в  $G$ , следовательно,  $S$  – клика. Очевидно, что минимальность для  $S$  тоже выполняется – в  $S$  не существует других точек, удаление которых нарушило бы связность в  $S$ . Исходя из определения,  $S$  – минимальный кликовый сепаратор графа  $G$ .

Разложение графа минимальными кликовыми сепараторами сводится к решению следующей последовательности задач:

- найти для заданного графа  $G = (V, E)$  минимальный элиминирующий порядок  $L$ ;
- на основе  $L$  построить минимальную триангуляцию  $H = (V, E')$  графа  $G = (V, E)$ ,  $E \subseteq E'$ ;
- найти максимальные клики триангуляции  $H$ ;
- построить дерево клик триангуляции  $H$ ;
- найти минимальные кликовые сепараторы графа  $G$ ;
- разложить граф  $G$  с помощью найденных минимальных кликовых сепараторов.

Дадим пояснения к указанным задачам. Поиск минимального элиминирующего порядка для графа  $G$  сводится к многократному нахождению на каждом шаге вершины максимального веса и помещению данной вершины в начало списка  $L$ , пересчету весов для всех вершин, смежных с ней и удалению ее из графа.

На сегодняшний день единственным эффективным методом нахождения кликовых минимальных сепараторов графа является извлечение их из минимальной триангуляции графа. Граф  $G$  считается хордальным, если ни один из его индуцированных подграфов не является простым циклом длины  $l \geq 4$ . Любой граф можно превратить в хордальный, добавив в него некоторое множество ребер. Триангуляцией графа  $G = (V, E)$  называется хордальный граф  $H = (V, E')$ , который содержит  $G$  в качестве остовного подграфа ( $E \subseteq E'$ ). Триангуляция минимальная, если она не содержит в себе в качестве собственного подграфа другую триангуляцию графа. В нашем случае процесс добавления ребер реализуется следующим образом:

- для каждой следующей вершины  $v$  из  $L$  находится множество смежных с ней вершин в текущем графе;
- все несмежные между собой найденные вершины соединяются ребрами (достраиваются до клики) и добавляются полученные ребра в текущий граф и граф  $H$ ;
- вершина  $v$  удаляется из текущего графа;
- процесс повторяется до тех пор, пока не будут обработаны все вершины из  $L$ .

Число максимальных клик хордального графа  $H$  всегда не более  $n - 1$  и потому они находятся путем систематического просмотра всех вершин этого графа и анализа их окрестностей. Для построения дерева клик триангуляции  $H$  используются надлежащие свойства хордальных графов:

- для связного хордального графа всегда существует дерево клик. Это такое дерево, в котором множество узлов – множество  $\{C_i: i \in I\}$  всех максимальных клик графа. Узлы  $C_i$  и  $C_j$  соединены ребром, если  $C_i \cap C_j \neq \emptyset$ ;
- дерево клик хордального графа образует остовное дерево наибольшего веса графа пересечений всех максимальных клик, где вес ребра – мощность множества, образующего пересечение надлежащих максимальных клик.

Используя эти свойства и полученные на предыдущем шаге максимальные клики триангуляции, дерево клик создается с помощью алгоритма Краскала – алгоритма поиска остовного дерева максимального веса.

Поиск минимальных кликовых сепараторов графа осуществляется на основе следующих свойств хордальных графов:

- любое ребро дерева клик, связывающее узлы  $C_i$  и  $C_j$  образует минимальный сепаратор данного графа;
- граф является хордальным тогда и только тогда, когда его любой минимальный сепаратор есть клика;
- если  $H$  – минимальная триангуляция для  $G$ , то всякий минимальный сепаратор графа  $H$  есть минимальный сепаратор графа  $G$ .

Зная эти свойства, остается только выбрать из минимальных сепараторов триангуляции  $H$  те минимальные сепараторы, которые образуют в  $G$  клики.

Процесс разложения графа сводится к многократному его разделению на части одним из найденных кликовых минимальных сепараторов  $S$ , с выделением компонент связности графа  $G(V \setminus S)$  и копированием  $S$  в эти компоненты. Этот процесс продолжается до тех пор, пока в полученных частях не окажется кликовых минимальных сепараторов.

Программа реализована на языке C++ в среде Visual Studio 2008 Express Edition. Программа может быть использована для решения различных графовых задач, основанных на отношении смежности вершин графа. В работе приводятся многочисленные примеры разложений графов, найденные с помощью разработанной программы.

УДК 539.374

## ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДАЛГЕБР И ИНВАРИАНТНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

**В.С. Бурмак**

**Научный руководитель С.И. Сенашов**

*Сибирский федеральный университет*

Рассмотрим уравнения, описывающие плоское напряженное состояние в случае медленных нестационарных течений. Уравнения имеют вид

$$\frac{\partial u}{\partial x} = k\lambda(\sqrt{3}\cos\omega + 3\sin\omega\cos 2\varphi)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}u = \left(\sqrt{3}\sin\omega\cos 2\varphi - \cos\omega\right)\frac{\partial\omega}{\partial x} + \sqrt{3}\sin\omega\sin 2\varphi\frac{\partial\omega}{\partial y} - 2\sin\omega\frac{\partial\varphi}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}v = \sqrt{3}\sin\omega\sin 2\varphi\frac{\partial\omega}{\partial x} - \left(\sqrt{3}\sin\omega\cos 2\varphi + \cos\omega\right)\frac{\partial\omega}{\partial y} + 2\sin\omega\frac{\partial\varphi}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = k\lambda\left(\sqrt{3}\cos\omega + 3\sin\omega\cos 2\varphi\right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = k\lambda\left(\sqrt{3}\cos\omega - 3\sin\omega\cos 2\varphi\right), \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 6k\lambda \sin \omega \sin 2\varphi. \quad (5)$$

Здесь  $\lambda$  – некоторая положительная функция;  $\varphi$  – угол между первым главным направлением тензора напряжения и осью  $Ox$ ;  $\omega$  – угол связан со значением среднего давления  $\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2)$ , именно  $\cos \omega = \frac{\sqrt{3}\sigma}{2k}$ ;  $k$  – постоянная пластичности;  $u, v$  – компоненты вектора скорости, все функции зависят от  $x, y, t$ .

Точечные симметрии систем (1)-(5) были найдены ранее с помощью методики Ли.

Базис алгебры Ли  $L_9$ , порождающей группу непрерывных преобразований, которая допускается системой уравнений (1)-(5), имеет вид:

$$X_1 = -y\partial_x + x\partial_y - v\partial_u + u\partial_v + \partial_\varphi,$$

$$X_2 = t\partial_t + x\partial_x + y\partial_y - \lambda\partial_\lambda, \quad X_3 = t\partial_t + u\partial_u + v\partial_v + \lambda\partial_\lambda,$$

$$X_4 = -y\partial_u + x\partial_v, \quad X_5 = \partial_y, \quad X_6 = \partial_x, \quad X_7 = \partial_v, \quad X_8 = \partial_u, \quad X_9 = \partial_t.$$

Строим оптимальную систему подалгебр размерности 1 путем поиска наиболее простых неподобных подалгебр, т.е. тех подалгебр, которые под действием внутренних автоморфизмов не переводятся друг в друга. Общий вид одномерной подалгебры таков:

$$X = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \alpha_6 X_6 + \alpha_7 X_7 + \alpha_8 X_8 + \alpha_9 X_9,$$

где  $\alpha_i, i = \overline{1,9}$  – константы.

Так оптимальная система подалгебр размерности 1 –  $\theta_1$  будет иметь вид

**Таблица 1.** Оптимальная система подалгебр размерности 1

I.	$\alpha X_1 + X_2 + X_3 \pm X_4;$	X.	$X_3 \pm X_5;$
II.	$\alpha X_1 + X_2 - X_3 \pm X_9;$	XI.	$X_4 \pm X_9;$
III.	$X_1 + \beta X_2 + \gamma X_3;$	XII.	$X_5 \pm X_9;$
IV.	$X_1 \pm X_4 + \alpha X_9;$	XIII.	$X_7 \pm X_9;$
V.	$X_4 \pm X_5 + \alpha X_9;$	XIV.	$X_3;$
VI.	$X_5 \pm X_7 + \alpha X_9;$	XV.	$X_4;$
VII.	$X_1 \pm X_9;$	XVI.	$X_5;$
VIII.	$X_2 + \alpha X_3;$	XVII.	$X_7;$
IX.	$X_2 \pm X_7;$	XVIII.	$X_9.$

Здесь  $\alpha, \beta, \gamma$  - произвольные постоянные, причём разным значениям постоянных соответствуют неподобные подалгебры.

Инвариантные решения, построенные на  $\theta_1$  имеют вид

**Таблица 2.** Вид инвариантных решений ранга 2

I.	$\lambda = tf_1(\xi, \eta), \varphi = f_2(\xi, \eta) + \frac{\alpha}{2} \ln t, \nu_r = rf_3(\xi, \eta), \nu_\theta = rf_4(\xi, \eta) + r \ln r, \xi = e^\theta t^{\frac{-\alpha}{2}}, \eta = e^\theta r^{-\alpha};$
II.	$\lambda = \lambda(\xi, \eta), \varphi = f_1(\xi, \eta) + \theta, \nu_r = r^{-1} f_2(\xi, \eta), \nu_\theta = rf_3(\xi, \eta), \xi = \theta \mp t, \eta = e^{\mp t} r;$
III.	$\lambda = tf_1(\xi, \eta), \varphi = f_2(\xi, \eta) + \frac{1}{\beta + \gamma} \ln t, \nu_r = r^{\frac{\gamma}{\beta}} f_3(\xi, \eta), \nu_\theta = r^{\frac{\gamma}{\beta}} f_4(\xi, \eta), \xi = e^{-\theta(\beta + \gamma)} t, \eta = t^{-\beta} r^{(\beta + \gamma)};$
IV.	$\lambda = \lambda(\xi, r), \varphi = \theta + f_1(\xi, r), \nu_r = \nu_r(\xi, r), \nu_\theta = f_2(\xi, r) \pm \theta r, \xi = t - \alpha \theta;$
V.	$\lambda = \lambda(\xi, x), \varphi = \varphi(\xi, x), v = \frac{f_1(\xi, x)}{\alpha} + \frac{tx}{\alpha}, u = f_2(\xi, x) \mp \frac{y^2}{2}, \xi = t \mp \alpha y;$
VI.	$\lambda = \lambda(\xi, x), \varphi = \varphi(\xi, x), v = f_1(\xi, x) \pm y, u = u(\xi, x), \xi = \alpha y - t;$
VII.	$\lambda = \lambda(\xi, r), \varphi = \theta + f_1(\xi, r), \nu_r = \nu_r(\xi, r), \nu_\theta = \nu_\theta(\xi, r), \xi = \theta \mp t;$
VIII.	$\lambda = tf_1(\xi, \theta), \varphi = \varphi(\xi, \theta), \nu_r = r^\alpha f_2(\xi, \theta), \nu_\theta = r^\alpha f_3(\xi, \theta), \xi = rt^{1+\alpha};$
IX.	$\lambda = f_1(\xi, \eta) t^{-1}, \varphi = \varphi(\xi, \eta), v = f_2(\xi, \eta) \pm \ln t, u = u(\xi, \eta), \xi = \frac{t}{x}, \eta = \frac{t}{y};$
X.	$\lambda = tf_1(\xi, x), \varphi = \varphi(\xi, x), u = tf_2(\xi, x), v = tf_3(\xi, x), \xi = te^{\mp y};$
XI.	$\lambda = \lambda(x, y), \varphi = \varphi(x, y), v = f_1(x, y) \mp xt, u = f_2(x, y) \pm ty;$
XII.	$\lambda = \lambda(x, y + t), \varphi = \varphi(x, y + t), v = v(x, y + t), u = u(x, y + t);$
XIII.	$\lambda = \lambda(x, y), \varphi = \varphi(x, y), v = f_1(x, y) \pm t, u = u(x, y);$
XIV.	$\lambda = tf_1(x, y), \varphi = \varphi(x, y), u = tf_2(x, y), v = tf_3(x, y);$
XV.	Инвариантного решения нет;
XVI.	$\lambda = \lambda(x, t), \varphi = \varphi(x, t), v = v(x, t), u = u(x, t);$
XVII.	Инвариантного решения нет;
XVIII.	$\lambda = \lambda(x, y), \varphi = \varphi(x, y), v = v(x, y), u = u(x, y).$

Где  $f_i, i = \overline{1, 4}$  - произвольные функции,  $r$  и  $\theta$  - полярные координаты:  $x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$ , а  $u_r, u_\theta$  - компоненты вектора скорости:  $u = u_r \cos \theta - u_\theta \sin \theta, v = u_r \sin \theta + u_\theta \cos \theta$ .

Также были найдены оптимальные системы подалгебр размерности 2, 3 -  $\theta_2, \theta_3$  соответственно, и инвариантные решения, только для тех подалгебр из  $\theta_2, \theta_3$ , для которых удовлетворяется необходимое условие инвариантности.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЦИИ ВЕБ-САЙТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ SEMANTIC WEB

**Г.В. Быков**

**Научный руководитель А.В. Бархатов**

*Сибирский федеральный университет*

До настоящего времени всемирная компьютерная сеть наиболее быстро развивалась как носитель документов, используемых людьми, а не как хранилище информации, допускающей автоматическую обработку. Так, поисковые системы, получая запрос пользователя, производят сопоставление одной последовательности символов (запроса) с другими последовательностями (индексированные документы), не вникая в значение написанного. В итоге вместо конкретного ответа на поставленный вопрос пользователю зачастую предлагается самостоятельно изучить значительное число интернет-ресурсов, наличие на которых интересующей информации вовсе не гарантируется. В условиях стремительного роста Интернет, когда каждые полтора года объем данных в глобальной сети удваивается, заложенные на заре становления HTML принципы метатегов не справляются с возложенной на них задачей. Для повышения эффективности поиска в таких объемах материалов предлагается введение и использование новых механизмов, способных трансформировать сеть, понятную исключительно человеку, в сеть, понятную компьютерам. Одним из таких механизмов является Semantic Web (или «Семантическая сеть», «Семантическая паутина»).

Страницы в Семантической паутине, в отличие от своих HTML-предшественников, снабжены семантической разметкой (компьютерно-ориентированные данные, описания), никак не отображаемой пользователю при просмотре документов, однако позволяющей компьютеру «уловить общий смысл» написанного. Для того чтобы позволить компьютеру интерпретировать информацию в Веб наравне с людьми, существуют:

- графовая модель описания ресурсов RDF (Resource Description Framework), с помощью которой можно создавать любые утверждения о любых ресурсах и публиковать эту информацию на сайтах в XML-формате. Каждое утверждение является тройкой субъект-отношение-объект (например, «Шекспир написал Гамлета», «Гамлет – это пьеса»);
- язык описания онтологий OWL (Web Ontology Language), который, дополняя RDF, даёт возможность делать утверждения о принадлежности объектов более общим классам, свойствах бинарных

отношений, существовании новых типов в терминах уже существующих;

- машины вывода (Semantic reasoners), позволяющие получать новые знания на основе уже имеющихся путём применения тех или иных правил логического вывода (в зависимости от структуры онтологии);
- язык запросов SPARQL, а также протокол передачи этих запросов и ответов на них (аналог SQL для реляционных баз данных).

Использование идей Semantic web позволяет снять часть работы по поиску и обработке информации с пользователя, передав эти функции специально разработанным приложениям. В данной работе рассматривается применение Семантических сетей в узком кольце ресурсов схожей тематики для интеграции данных и предоставления различных тематических сервисов.

Наглядным примером таких ресурсов может послужить кольцо сайтов СФУ о живой природе, включающее сайты о рыбах, птицах, Красной книге Красноярского края (fish.krasu.ru, nature.krasu.ru, redbook.krasu.ru, birds.krasu.ru). Каждый из них придерживается определенной общей политики в описании разнородных животных: указание места в биологической систематике, латинского названия, года открытия, первооткрывателя, общей информации о полевых признаках, распространении, местах обитания. На основании этих данных можно предложить к реализации следующие сервисы:

- просмотр информации по данному животному (и его ближайших родственниках) на других сайтах кольца;
- единый интеграционный сайт (например, единая база животных);
- централизованный поиск информации (например, посмотреть все виды, которые были открыты в определенном году);
- поиск несоответствий и опечаток на сайтах кольца (один и тот же вид на разных сайтах имеет разный год открытия, первооткрывателя, принадлежит к разным более общим таксонам).

Для реализации вышеназванных сервисов были разработаны консольные приложения (Java SE 6.0 с применением библиотеки Jena), получающие информацию о представленных животных из баз данных и файлов ресурсов (\*.htm, \*.inc) сайтов кольца. Организованная в соответствии с разработанной OWL-онтологией информация о животных затем попадает в семантическое хранилище (база данных под управлением MySQL). Оно используется веб-приложением (на Java Server Faces 2.0), которое:

- предоставляет пользователю единый веб-интерфейс для использования разработанных семантических сервисов;
- позволяет производить поиск информации на сайтах всего кольца по заранее заготовленным параметризованным или произвольным SPARQL-запросам;

- позволяет загружать на локальный компьютер всю используемую семантическим приложением информацию в формате RDF/XML.

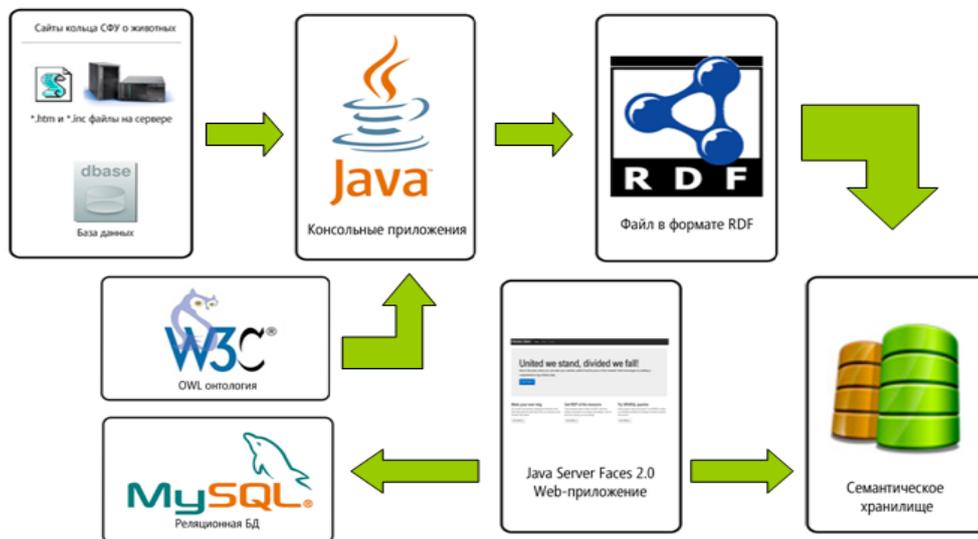


Рис. 1. Структура системы

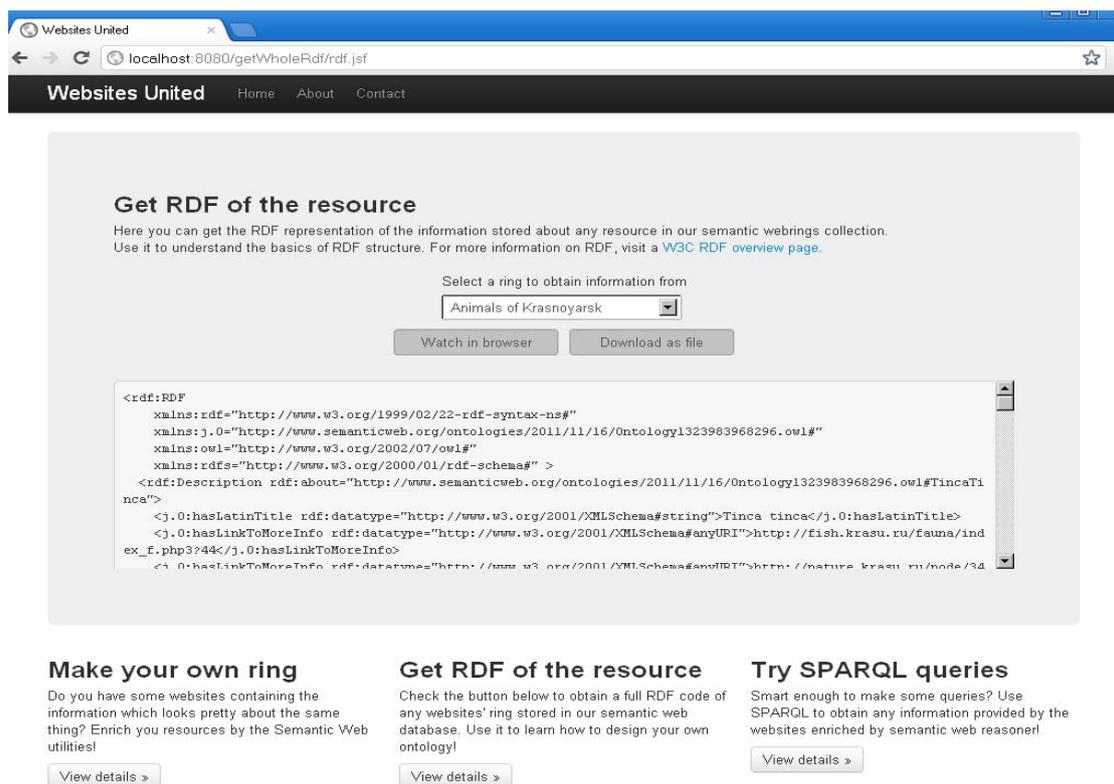


Рис. 2. Получение RDF в форме на сайте

Развитием данной работы может послужить реализация авторизации и аутентификации на веб-сайте, предоставление веб-интерфейса для регистрации и подключения в работу новых колец сайтов, реализация

javascript-виджетов, выполняющих асинхронные запросы к семантическому хранилищу и возвращающих результат без необходимости покидать текущую страницу, которые можно предложить администраторам кодец для вставки на свои ресурсы.

Разрабатываемая система позволит производить интеграцию веб-ресурсов различных видов на основе технологий Semantic Web. Это могут быть сайты институтов, гостиниц, банков, авиакомпаний, предприятий. На данный момент подобные подходы в Интернет практически не применяются или применяются только в ограниченном кругу ресурсов, принадлежащих единому владельцу. Использование технологий Semantic Web в перспективе повысит интерпретируемость веб-ресурсов и сделает их доступными для различного рода интеллектуальной автоматической обработки.

УДК 519.2/.6

## **МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ И ЛИНЕЙНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ НА ПРАКТИКЕ: ПРИМЕНЕНИЕ К РОССИЙСКОЙ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ**

**К.Ю. Веретнова**

**Научный руководитель Л.И. Покидышева**

*Сибирский федеральный университет*

Существует множество агентств по созданию рейтингов. Количество подходов к созданию рейтинга между объектами очень велико. Создаются формулы, по которым тот или иной объект исследования ставится на то или иное место в рейтинге. В данной работе предложена альтернатива «искусственным», придуманным рейтингам. Проводится работа по созданию «объективного» рейтинга среди банков, действующих на территории Российской Федерации, не зависящего от выбора показателей банков, от какой-либо необъективной формулы. С применением нелинейного моделирования, использующего метод главных компонент и главные многообразия, был составлен рейтинг банков, действующих на территории Российской Федерации.

Есть несколько подходов к созданию рейтинга между какими-либо объектами. Объекты каким-то образом располагаются в пространстве своих показателей, которыми они характеризуются. Один из подходов – это создание некой прямой шкалы рейтинга, на которую проецируются объекты в пространстве показателей. Этот подход не является «естественным». Александром Николаевичем Горбанем и Андреем Юрьевичем Зиновьевым была предложена идея другого подхода к созданию рейтингов, которая

применяется в тех случаях, когда линейная аппроксимация данных не является удовлетворительной. Если объекты располагаются в пространстве вдоль некоторой кривой, то более естественный способ расположить объекты в рейтинге – аппроксимировать облако объектов в пространстве показателей некоторой гладкой кривой и проецировать объекты на нее, а не на придуманную шкалу. Эта линия – натуральная шкала рейтинга. Она будет учитывать нелинейные структуры облака данных. Такую линию мы будем называть главным многообразием.

Данный подход позволяет не изобретать формул для определения позиции объекта в рейтинге, а также отказаться от выбора показателей. Данная кривая появляется как аппроксимация облака точек. Место объекта в рейтинге определяется координатой на этой «натуральной» кривой.

Цель работы: проверить действительно ли большой набор данных может быть аппроксимирован линейным многообразием меньшей размерности. И в рамках примера: создать рейтинг между банками, используя метод упругих карт.

Метод главных компонент – это один из способов понижения размерности данных, состоящий в переходе к новому ортогональному базису, оси которого ориентированы по направлениям максимальной дисперсии набора входных данных.

После того как два вектора главных компонент будут найдены, точки пространства показателей (банки) можно спроецировать на плоскость, образованную векторами главных компонент.

Для применения метода главных компонент данные должны быть записаны в виде матрицы. Отдельная строка такой матрицы – это конкретный объект исследования; вектор, с координатами-показателями.

Зачастую объекты исследования имеют сильно различающиеся значения показателей по тому или иному показателю. Для того чтобы уравновесить эти значения, данные необходимо нормировать по столбцам. Так же метод главных компонент предполагает, что векторы данных являются центрированными.

Таким образом, вектор-столбец  $P_j$ -го показателя следует нормировать по следующей формуле:

$$P_j = \left( \frac{P_j^1 - \bar{P}_j}{\sigma(P_j)}, \dots, \frac{P_j^n - \bar{P}_j}{\sigma(P_j)} \right), \quad j = \overline{1, m},$$

где матрица данных имеет размерность  $(n \times m)$ ;  $\bar{P}_j$  – выборочное среднее для  $j$ -го показателя  $P_j$ ,  $\bar{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_j^i$ ,  $\sigma(P_j)$  – среднеквадратическое отклонение для  $j$ -го показателя  $P_j$ ,  $\sigma(P_j) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_j^i - \bar{P}_j)^2}$ .

Векторы главных компонент для показателей были найдены как собственные векторы эмпирической ковариационной матрицы. Благодаря нормировке ковариационная матрица стала корреляционной. Векторы и собственные значения матрицы были найдены с помощью метода вращений Якоби.

Упругая карта служит для нелинейного сокращения размерности данных. В многомерном пространстве данных располагается поверхность, которая приближает имеющиеся точки данных и при этом является, по возможности, не слишком изогнутой. Данные проецируются на эту поверхность и потом могут отображаться на ней, как на карте. Ее можно представлять себе как упругую пластину, погруженную в пространство данных и прикрепленную к точкам данных пружинками. Служит обобщением метода главных компонент (в котором вместо упругой пластины используется абсолютно жесткая плоскость).

По построению, упругая карта представляет собой систему упругих пружин, вложенную в многомерное пространство данных. Эта система аппроксимирует облако данных. Метод был разработан проф., д.ф.-м.н. А. Н. Горбанем, к.т.н. А. Зиновьевым и к.т.н. А. Питенко в 1996—2001 гг.

Рассмотрим двумерную прямоугольную сетку узлов, в которой  $p$  узлов по горизонтали и  $q$  узлов по вертикали. Узлы сетки нумеруются с помощью двух индексов  $y^{ij}, i = \overline{1, p}, j = \overline{1, q}$ .

**Определение 1.** Упругой сеткой будем называть множество узлов, таких что:

- 1) узлы сетки близки к точкам данных;
- 2) сетка должна быть упруга по отношению к изгибу. Это свойство до некоторой степени обеспечит гладкость результирующего многообразия;
- 3) сетка должна быть равномерна, т. е. упруга по отношению к растяжению.

Меняя параметры упругости и растяжения, можно получать сетку с различными свойствами.

**Определение 2.** Таксон  $K_{ij}$  узла  $y^{ij}$  – это множество точек  $x \in X$ , таких что:

$$K_{ij} = \left\{ x \in X \mid \|y^{ij} - x\|^2 \rightarrow \min \right\},$$

где  $X$  – множество точек данных,  $\|\cdot\|$  – Евклидова норма.

Функционал степени качества сетки, который необходимо минимизировать:

$$D = \frac{D_1}{|X|} + \lambda \frac{D_2}{pq} + \mu \frac{D_3}{pq} \rightarrow \min,$$

$|X|$  – число точек данных,  $\lambda, \mu$  – коэффициенты упругости, отвечающие за растяжение и изогнутость сетки.

$$D_1 = \sum_{ij} \sum_{x_k \in K_{ij}} \|x_k - y^{ij}\|^2 - \text{мера близости узлов к данным,}$$

$D_2 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^{q-1} \|y^{ij} - y^{i,j+1}\|^2 + \sum_{i=1}^{p-1} \sum_{j=1}^q \|y^{ij} - y^{i+1,j}\|^2 -$  мера растянутости сетки,

$D_3 = \sum_{i=1}^p \sum_{j=2}^{q-1} \|2y^{ij} - y^{i,j-1} - y^{i,j+1}\|^2 + \sum_{i=2}^{p-1} \sum_{j=1}^q \|2y^{ij} - y^{i-1,j} - y^{i+1,j}\|^2 -$  мера кривизны сетки.

Так как метрика является евклидовой, то функционал  $D$  является квадратичным по отношению к узлам  $y^{ij}$ . Следовательно, для его минимизации будет приемлем следующий алгоритм:

Шаг 1. Узлы сетки, так или иначе, располагаются в пространстве.

Шаг 2. При заданных положениях узлов данные разбиваются на таксоны.

Шаг 3. При заданном разбиении множества точек данных на таксоны производится минимизация функционала  $D$  из условия  $\frac{\partial D}{\partial y^{ij}} = 0$ .

Шаги 2 и 3 повторяются до тех пор, пока величина функционала  $D$  не станет мала (в пределах заданной точности).

В настоящей работе были исследованы первые 100 банков, действующих на территории Российской Федерации, из рейтинга, опубликованного на сайте Центрального банка РФ. Каждый банк характеризуется 74 значениями показателей. Они включают в себя кредиты, выданные как физическим лицам, так и различным коммерческим организациям, на различные периоды, депозиты коммерческих, некоммерческих организаций, физических лиц, основные средства и т.п.

Таким образом, мы можем представить множество исследуемых банков как облако в 74-размерном пространстве показателей.

С помощью метода упругих карт была получена аппроксимация облака банков кривой, на которую банки были спроецированы.

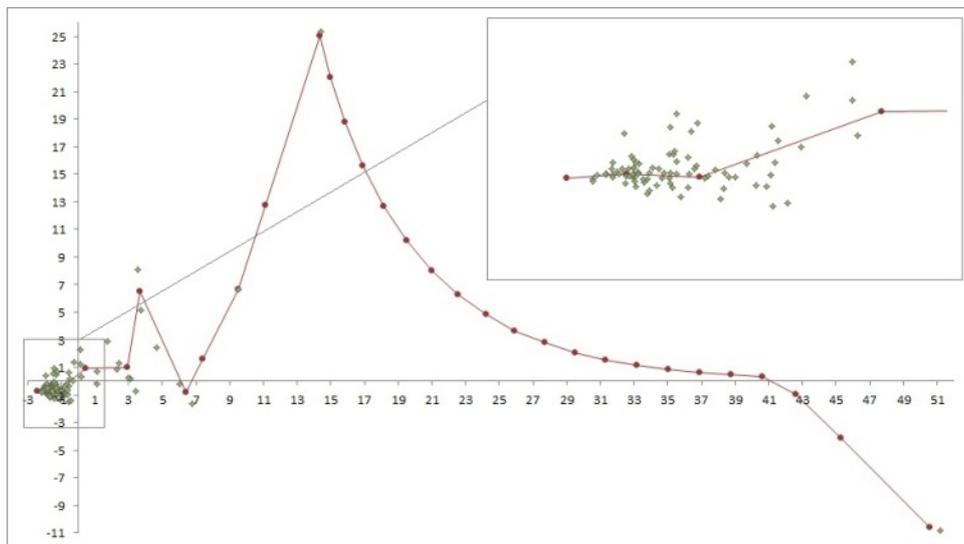
После того как векторы главных компонент были найдены, данные были спроецированы на плоскость, образованную первыми двумя векторами главных компонент.

После операции проецирования был получен рисунок облака данных на плоскости главных компонент (рис. 1).

После того как многообразие построено, для визуализации данных необходимо указать правило, с помощью которого данные из исходного пространства переносятся на упругую кривую. Длина вектора переноса не будет слишком велика, поскольку карта аппроксимирует данные и достаточно плотно к ним прилегает.

Идея, которая применяется при проецировании – сопоставление точке данных ближайшей точки отрезка, соединяющего два ближайших к

точке узла на карте. Место объекта в рейтинге определяется координатой точки на кривой, аппроксимирующей облако данных.



*Рис. 1. Проекция точек данных на плоскость главных компонент.  
Так же на рисунке представлена кривая, аппроксимирующая облако данных*

**Определение 3.** *Расстояние* будем определять следующим образом: выполним ортогональное проецирование на прямую, содержащую отрезок. Если проекция принадлежит отрезку, то искомое расстояние – это расстояние до проекции. Иначе искомое расстояние – это расстояние до ближайшего конца отрезка. Тогда координатой точки на кривой будет либо координата этой точки на отрезке, либо координата ближайшего к ней узла.

Так как отрезок является линейной комбинацией координат двух точек, тогда условием принадлежности точки отрезку будет существование такого  $p \in [0, 1]$  что:

$$\begin{cases} px_1 + (1 - p)x_2 = x \\ py_1 + (1 - p)y_2 = y \end{cases}$$

где  $(x, y)$  – координаты точки данных;  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_1, y_2)$  – координаты ближайших к ней узлов.

Рассмотрим рис. 2. Точки на кривой – проекции точек-банков на линейное многообразие. Все банки выстроились один за другим. Выпрямляя кривую, мы получим «естественный» рейтинг банков.

Таким образом, применяя метод главных компонент и метод упругих карт, можно получать рейтинг, независимый от чьей-либо точки зрения. Аппроксимируя облако данных кривой, мы получаем «натуральную» шкалу рейтинга, которой можно пользоваться.

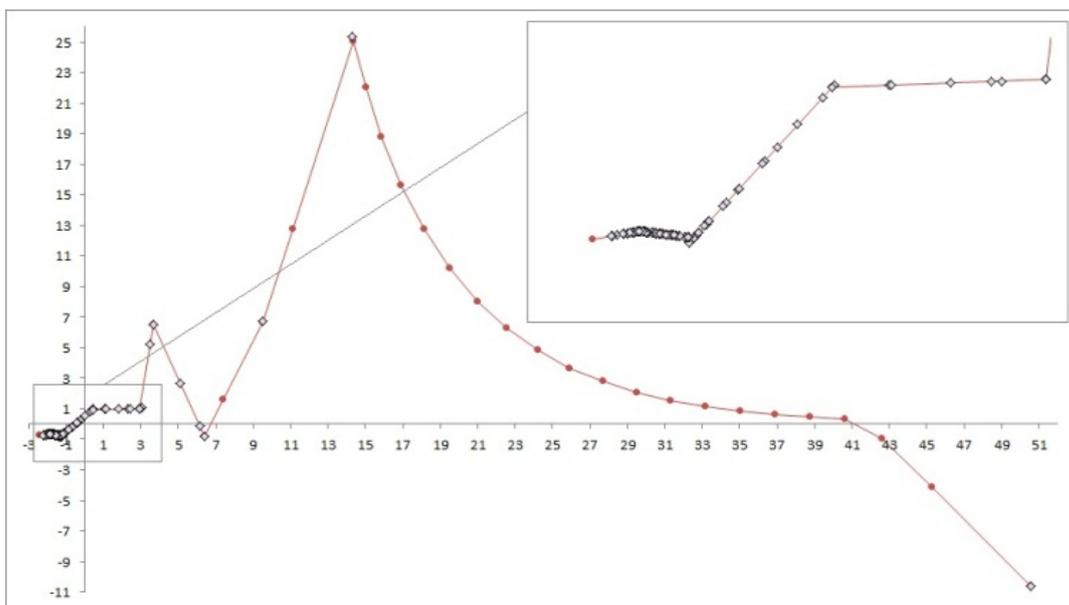


Рис. 2. Проекция точек данных на кривой

УДК 51

## ПУТЬ К НАДЕЖНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В 2030 ГОДУ

**Е. Герасимов**

**Научный руководитель В.А. Кулагин**

*МАОУ «Общеобразовательное учреждение гимназия №13»*

Если когда-либо в энергетике и могло наступить время коренных перемен, то эта пора пришла. Десятилетия новаторских исследований принесли свои плоды: множество многообещающих технологий, способных извлекать энергию из различных источников – атома, Солнца, ветра, тепла земли, воды, океанских приливов – и превращать ее в электричество и тепло.

Землетрясения, возникающие из-за образования пустот при добыче органического топлива, резкое изменение климата, озоновые дыры, и, наконец, жизнь среди вредных выбросов в жидком, газообразном и даже твёрдом состояниях заставляют задуматься: «Хватит использовать уголь и нефть в качестве энергетического топлива, слишком они ценные продукты, чтобы их сжигать. Пора бы искать другие способы получения тепловой и электрической энергии – эффективной и безопасной».

Четыре года назад, когда жил в городе Балаково Саратовской области – городе энергетиков, будучи сыном человека, который более 10 лет работал на АЭС, я серьёзно начал увлекаться атомной энергетикой. С каждым годом я всё больше убеждался, что атомная энергетика может стать отличной заменой

электростанциям, работающим на угле, газе или мазуте. Доказательством служат мои исследования влияния АЭС на биосферу: многолетний мониторинг радиационного фона возле АЭС и за городом Балаково, анализ результатов проб почвы, воды в городе и в водоёме-охладителе АЭС на количественное содержание радиоактивных элементов; тщательное изучение АЭС с технической стороны: принцип работы, барьеры безопасности, основные реакции, протекающие внутри реактора и способы их контроля.

**Цель:** решение двух основных проблем существующей энергосистемы: хозяйственной (иссякаемость энергетических ресурсов) и научной (поиск новых способов извлечения энергии, модернизация энергогенерирующих станций).

**Задачи:**

1. Оценка характеристик работы основных энергогенерирующих станций.
2. Определить наиболее перспективный и выгодный вариант развития.
3. Определить перспективные задачи реализации проекта.
4. Спрогнозировать основные возможные проблемы, которые могут возникнуть при реализации проекта, найти способы их решения.

По данным Управления по энергетической информации США, сегодня мировое одномоментное потребление энергии составляет около 12,5 трлн Вт (тераватт, ТВт). Управление прогнозирует, что в связи с ростом населения Земли и повышением его жизненного уровня к 2030 г. потребуется 16,9 ТВт. При этом предполагается, что распределение источников останется близким к нынешнему – с большим преобладанием доли ископаемого топлива.

**Атомная энергетика.** Благодаря тому, что реактор на быстрых нейтронах способен воспроизводить больше топлива, чем потребляет (из 100 кг делящегося изотопа можно получить 120 – 130 кг свежего ядерного топлива), массовое строительство реакторов на быстрых нейтронах сможет обеспечить надёжную энергетiku на несколько тысяч лет путём создания замкнутого топливного цикла (реактор на быстрых нейтронах производит топливо для реакторов на медленных, а те, в свою очередь, – топливо для быстрых. Создание такой энергосистемы оценивается приблизительно в \$25-30 трлн.

В связи с тем, что запасы нефти, угля и газа иссякают, добыча этого топлива, а также способ извлечения из него энергии наносят огромный ущерб биосфере, все варианты развития тепловой энергетики, учитывая существующие технологии, не перспективны.

**Возобновляемые источники энергии** чрезвычайно привлекательны: это ветер, создающий также волны. Вода – основа гидро-, приливной и геотермальной (с использованием природной горячей воды из земных недр) энергетики. Солнце, чья энергия может преобразовываться в электрическую при помощи вентильных фотоэлементов и концентраторных

систем, фокусирующих солнечное излучение для нагрева воды и образования пара для паровых турбин.

Однако массовому переходу на эти источники энергии воспрепятствует ограниченность или нехватка материалов. Больше всего трудностей могут вызвать редкоземельные металлы, неодим. Их источники, где добыча обходится сравнительно недорого, сосредоточены в Китае, поэтому у таких стран, как США, может возникнуть зависимость от ближневосточной нефти, которая потребуется для доставки этих дальневосточных металлов. Требуются также аморфный или кристаллический кремний, теллурид кадмия или селенид и сульфид меди и индия. Помехой может стать недостаток серебра. Серьёзным препятствием для производства миллионов электромобилей могут стать литий и платина. Больше половины мировых запасов лития сосредоточено в Боливии и Чили. Такая концентрация в сочетании с быстрым ростом спроса может вызвать существенный рост цен. Использование платины зависит от лёгкости утилизации. Известных запасов платины при ежегодном производстве 20 млн автомобилей на топливных элементах хватит меньше, чем на 100 лет.

Василис Фтенакис (Vasilis Fthenakis) подсчитал, как дорого обойдется производителю выработка электроэнергии и транспортировка ее по сети. В расчеты были включены капитальные вложения в течение года, аренду земли, эксплуатационные расходы, стоимость обслуживания, накопление энергии для компенсации неравномерности производства и расходы на передачу энергии.

Суммарные затраты на строительство всемирной ВВС-системы за 20 лет могут составить около \$100 трлн, не считая затрат на систему транспортировки электроэнергии.

Конечно, невозможно предсказать, какова будет ситуация с энергией в мире через 20 лет. Возможно, что потребность в термояде будет велика как никогда. А возможно, что прорыв в освоении таких альтернативных источников энергии, как солнце, ветер и других, еще не известных, сделают термояд слишком дорогим и сложным по сравнению с ними.

Термояд оказался просто еще одной из возможностей, причем достижение цели потребует десятилетий работы. Поджечь термояд удастся скоро, но получить неиссякаемый источник энергии – нет.

Таким образом, с учётом перспектив роста энергопотребления и перехода на чистые источники энергии мировая энергетика не сможет обойтись **без атомной** энергетика. В итоге наиболее выгодным и эффективным оказался **вариант развития быстрой энергетика и создания замкнутого топливного цикла**. Можно считать, что атомная электростанция – самый мощный, надёжный и экологически безопасный источник электроэнергии, и в настоящее время, я думаю, опасения граждан Российской Федерации относительно вредного воздействия АЭС на здоровье человека и окружающую среду беспочвенны.

При начале реализации данного проекта, демонтаже ТЭС могут вспыхнуть массовые недовольства среди рабочих этих предприятий, социальные, экономические и политические проблемы, проблемы с обеспечением и финансированием охраны здоровья окружающей среды и здоровья населения. Все эти проблемы поставлены на перспективную задачу при разработке мероприятий модернизации энергосистемы.

Придёт время, и мы сможем с гордостью сказать: «Мы живём в веке ядерных технологий».

УДК 002.6

## **РАЗРАБОТКА САЙТА «ФРАКТАЛЫ»**

**Л.Ф. Губайдулина**

**Научный руководитель И.В. Баранова**

*Физико-математическая школа*

*при Сибирском федеральном университете*

В рамках научно-исследовательской работы был разработан сайт «Фракталы». Целью создания сайта является демонстрация умений и навыков, полученных в результате научно-исследовательской работы, заключающейся в изучении современных технологий разработки и сопровождения сайтов и web-приложений.

Разработке сайта предшествовало изучение основ языка гипертекстовой разметки HTML (синтаксиса языка, основных конструкций языка, структуры html-документа, основных содержательных и декларативных элементов языка), овладение навыками создания кода программы на языке HTML и ее реализации в среде программирования, изучение основных макетов верстки сайтов, приобретение навыков выбора макета, реализация способов навигации по сайту и ознакомление с основными правилами web-дизайна.

Назначением сайта является представление информации о фракталах. Фракталом называется сложная геометрическая фигура, обладающая свойством самоподобия, т.е. фрактал составлен из нескольких частей, каждая из которых подобна всей фигуре целиком. На сайте приводится как теоретическая информация о фракталах (основные определения, математические структуры, лежащие в основе различных видов фракталов, классификация фракталов), так и примеры фракталов, существующих в природе или порожденных человеческой деятельностью. Сайт имеет научно-популярный характер.

Целевой аудиторией сайта является широкий круг пользователей: студенты математических и технических специальностей высших учебных заведений, школьники физико-математических классов общеобразовательных учреждений и все, интересующиеся математикой и информатикой.

В состав сайта входят 10 web-документов, общий объем которых превышает 15 страниц обычного печатного текста. Сайт состоит из шести крупных разделов, некоторые из которых включают в себя подразделы. Перечислим основные разделы сайта:

1. Главная страница.
2. История.
3. Классификация фракталов.
4. Фракталы в природе.
5. Галерея фракталов.
6. Применение фракталов.

На главной странице сайта приводится информация о названии и назначении сайта, а также определение фрактала. В разделе «История» излагаются основные сведения о развитии теории фракталов, и приводится информация об ученых, внесших наибольший вклад в становление и развитие теории фракталов. В следующем разделе приводится подробная классификация фракталов: алгебраические (множества Мандельборта, множества Жюли, бассейны Ньютона, треугольники Серпинского и т.д.), геометрические (снежинка Коха, кривая Леви, кривая Гильберта, множества Кантора, дерево Пифагора, кривая дракона и т.д.), стохастические (броуновское движение, эволюции Шрамма-Лёвнера, перколяции и т.д.), детерминированные фракталы и пр. В разделе «Фракталы в природе» приводятся примеры фракталов, существующих в природе или порожденных человеческой деятельностью. В разделе «Галерея фракталов» показаны изображения необычных и интересных фракталов. В последнем разделе демонстрируется применение фракталов в разных областях деятельности.

Сайт «Фракталы» был реализован на языке гипертекстовой разметки HTML. Верстка страниц сайта осуществлялась вручную.

В качестве инструмента для основы макета каждой страницы использовались таблицы разметки. Благодаря использованию таблиц с колонками относительной ширины, страницы расширяются или сжимаются в соответствии с размером дисплея пользователя и размером окна браузера. В качестве макета был выбран один из наиболее распространенных макетов разметки на основе таблиц – двухколоночный макет с плавающей шириной и с шапкой. В шапке находится логотип и название сайта. В левой колонке располагается навигационное меню, а правой – основная информация.

Навигация по сайту осуществляется с помощью меню, в котором расположены ссылки на соответствующие страницы сайта. Меню сайта выполняет одновременно две функции: служит для навигации по страницам и позволяет

пользователю ознакомиться с содержанием сайта. Оно существенно экономит время для поиска нужной информации и перехода к ней. В данном сайте используется вертикальное меню, находящееся в левой колонке таблицы разметки. В нем находятся ссылки на страницы сайта. Структура меню полностью идентична структуре разделов сайта, приведенной выше.

Одним из правил web-дизайна является то, что выбранный стиль сайта должен соответствовать содержанию сайта. Разработанный сайт относится к сайтам научно-популярной категории, поэтому выбранная цветовая гамма сайта значительно строже, чем у коммерческих сайтов. Вследствие категории сайта, а также из-за следования правилу эргономики были выбраны светлые цвета для фона сайта и темные для текста.

Все страницы сайта оформлены в едином стиле и цветовой гамме. Определены цвета фона, основного текста, шрифтов, гиперссылок, заголовков, абзацев и т.д.

Сайт содержит большое число иллюстраций и практических примеров.

УДК 517.9

## **О ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКА ОДНОГО КВАЗИЛИНЕЙНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ**

**М.А. Даржаа**

**Научный руководитель И.В. Фроленков**

*Сибирский Федеральный Университет*

В работе Ю.Я. Белова и К.В. Коршуна “О задаче идентификации функции источника для уравнения типа Бюргерса” исследована разрешимость обратной задачи с неизвестным коэффициентом при функции источника. Уравнение содержит квазилинейный член вида  $u(t, x)u_x(t, x)$ .

В данной работе получено обобщение на случай квазилинейного уравнения, содержащего нелинейность достаточно общего вида. Получены достаточные условия существования решения. При помощи условий согласования обратная задача сводится к некоторой вспомогательной прямой задаче для нелинейного нагруженного уравнения. Для доказательства разрешимости прямой задачи используется метод слабой аппроксимации.

В области  $\Pi_{[0, T]} = \{(t, x) | 0 < t < T, x \in E_1\}$  рассматривается задача Коши

$$u_t(t, x) = u_{xx} + M(t, u(t, x))u_x(t, x) + \lambda(t)f(t, x),$$

$$u(0, x) = u_0(x).$$

Коэффициент  $\lambda(t)$  подлежит определению одновременно с решением задачи  $u(t, x)$ , удовлетворяющим условию переопределения

$$u(t, 0) = \varphi(t).$$

и условию согласования

$$\varphi(0) = u_0(0).$$

Здесь  $M(t, y)$  - это достаточно гладкая функция, имеющая все непрерывные производные, входящие в следующее соотношение, и удовлетворяющая

$$\left| \frac{\partial^k}{\partial y^k} M(t, y) \right| \leq M_0(1 + |y|^p), \quad k = 0, \dots, 6,$$

где  $p$  – фиксированное натуральное число.

Пусть входные данные также имеют все нужные непрерывные производные и удовлетворяют соотношению:

$$|f(t, 0)| \geq \delta > 0, \quad |\varphi(t)| + |\varphi'(t)| + \sum_{k=0}^6 \left| \frac{\partial^k}{\partial x^k} f(t, x) \right| + \sum_{k=0}^6 \left| \frac{d^k}{dx^k} u_0(x) \right| \leq C.$$

Подставляя условие переопределения в исходное параболическое уравнение, получим

$$\varphi'(t) = u_{xx}(t, 0) + M(t, \varphi(t))u_x(t, 0) + \lambda(t)f(t, 0).$$

Откуда находим неизвестный коэффициент:

$$\lambda(t) = \frac{\varphi'(t) - u_{xx}(t, 0) - M(t, \varphi(t))u_x(t, 0)}{f(t, 0)}.$$

Подставляя  $\lambda(t)$  в исходную прямую задачу, получим

$$u_t(t, x) = u_{xx} + M(t, u(t, x))u_x(t, x) + \frac{\varphi'(t) - u_{xx}(t, 0) - M(t, \varphi(t))u_x(t, 0)}{f(t, 0)} f(t, x),$$

$$u(0, x) = u_0(x).$$

Расщепим и линеаризуем задачу сдвигом по времени на  $(t - \frac{\tau}{3})$  на втором и третьем дробных шагах в нелинейных членах и членах, содержащих следы неизвестных функций

$$u_t^\tau = 3u_{xx}^\tau(t, x), \quad t \in \left( n\tau, \left( n + \frac{1}{3} \right) \tau \right],$$

$$u_t^\tau = 3 \frac{\varphi'(t) - u_{xx}^\tau(t - \frac{\tau}{3}, 0) - M(t, \varphi(t)) u_x^\tau(t - \frac{\tau}{3}, 0)}{f(t, 0)} f(t, x), t \in \left( \left( n + \frac{1}{3} \right) \tau, \left( n + \frac{2}{3} \right) \tau \right],$$

$$u_t^\tau = 3M(t, u^\tau(t - \frac{\tau}{3}, x)) u_x^\tau(t, x), t \in \left( \left( n + \frac{2}{3} \right) \tau, (n + 1)\tau \right],$$

$$u^\tau(0, x) = u_0(x).$$

На первом дробном шаге мы получаем оценки в силу принципа максимума для параболического уравнения. На втором дробном шаге решается задача Коши для обыкновенного дифференциального уравнения. На третьем дробном шаге рассматривается задача Коши для уравнения в частных производных первого порядка.

Существует такая постоянная  $t^* \in (0, T]$ , зависящая от констант, ограничивающих входные данные, и не зависящая от  $\tau$ , что при  $(t, x) \in \Pi_{[0, t^*]}$  получаем равномерную по  $\tau$  оценку

$$\left| \frac{\partial^k}{\partial x^k} u^\tau(t, x) \right| \leq C.$$

Из полученных оценок следует равномерная по  $\tau$  ограниченность производных

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial^j u^\tau}{\partial x^j}, \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial^j u^\tau}{\partial x^j}, \quad j = 0..4,$$

которой достаточно для равностепенной непрерывности в  $\Pi_{[0, t^*]}^N = \{(t, x), t \in [0, t^*], |x| < N\}$  множеств функций  $\{u^\tau\}$ ,  $\{u_x^\tau\}$ ,  $\{u_{xx}^\tau\}$ ,  $\{u_{xxx}^\tau\}$ ,  $\{u_{xxxx}^\tau\}$ .

По теореме Арцела, существует последовательность  $u^{\tau_k}$ , сходящаяся в  $\Pi_{[0, t^*]}^N$  вместе со своими производными до четвертого порядка включительно к некоторой функции  $u(t, x)$ . По теореме сходимости метода слабой аппроксимации, функция  $u(t, x) = \lim_{k \rightarrow \infty} u^{\tau_k}(t, x)$ , принадлежащая классу

$$C_{t,x}^{1,4}(\Pi_{[0, t^*]}^N) = \left\{ u(t, x) \mid \frac{\partial u}{\partial t}, \frac{\partial^k}{\partial x^k} u(t, x) \in C(\Pi_{[0, t^*]}^N), k = 0, 1, \dots, 4 \right\},$$

является решением прямой задачи

Для найденной функции  $u(t, x)$  доказано выполнение условий переопределения. Зная  $u(t, x)$  мы можем найти  $\lambda(t)$ .

Доказана

### Теорема

Пусть выполняются все указанные выше условия на входные данные. Тогда существует постоянная  $0 < t^* \leq T$ , зависящая от констант, ограничивающих входные данные, такая, что решение  $u(t, x)$ ,  $\lambda(t)$  исходной обратной задачи Коши существует в классе

$$Z(t^*) = \{u(t, x), \lambda(t) | u(t, x) \in C_{t,x}^{1,4}(\Pi_{[0,t^*]}), \lambda(t) \in C([0, t^*])\}.$$

и удовлетворяет условиям

$$\sum_{j=0}^4 \left| \frac{\partial^j}{\partial x^j} u \right| \leq C, |\lambda(t)| \leq C.$$

### Список литературы

1. A. I. Prilepko, D. G. Orlovsky, I. A. Vasin. Methods for Solving Inverse Problems in Mathematical Physics. New York, Marcel Dekkar, inc., 1999.
2. Н. Н. Яненко. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики / Изд-во «Наука» - сибирское отделение, Новосибирск, 1967.
3. Белов Ю. Я., Кантор С. А. Метод слабой аппроксимации / КрасГУ, Красноярск, 1999.
4. Belov Yu. Ya. Inverse problems for partial differential equations. Utrecht etc.: VSP 2002.
5. Камке Э. Справочник по дифференциальным уравнениям в частных производных первого порядка. – М.: Наука, 1966.
6. Треногин В. А. Функциональный анализ / М.: Наука, 1980.

УДК 51

## ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ВТОРОГО ПОРЯДКА НА ОСНОВЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ НАД ЧИСЛАМИ

**И. Елисеев, Д. Шеремет**  
**Научный руководитель С.В. Ларин**  
*Физико-математическая школа  
при Сибирском федеральном университете*

### Введение

В динамической геометрии известны «механические» определения кривых второго порядка, которые можно смоделировать в компьютерной среде «GeoGebra». Наша работа посвящена принципиально иному способу построения кривых второго порядка на базе геометрического моделирования операций над числами и определенных нами операций над точками плоскости. В результате экспериментирования в среде «GeoGebra» были подмечены интересные факты, которые потом удалось математически обосновать.

В качестве основных элементов построений используются следующие построения (Рис. 1-3), которые выполняют соответственно сложение (вычитание), умножение (деление) чисел и извлечение квадратного корня из неотрицательного числа (на рис. 3 изображена функция  $y=\sqrt{x}$ ).

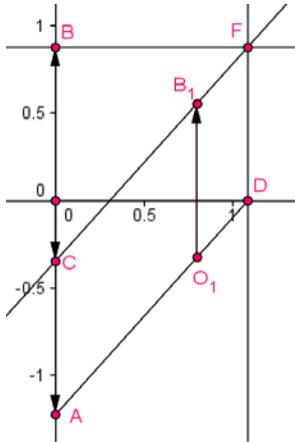


Рис. 1

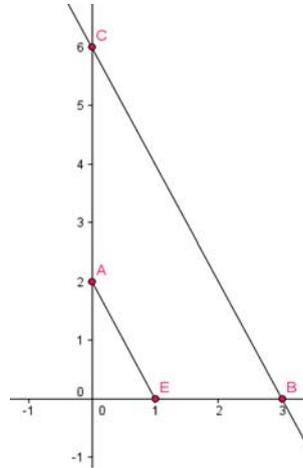


Рис. 2

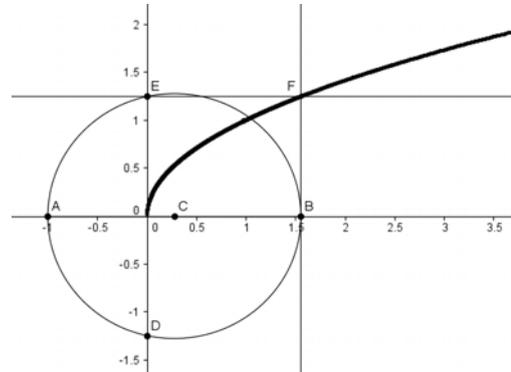


Рис. 3

### Основная часть

**Определение.** Произведением точек  $(x, y)$  и  $(x, z)$  назовем точку  $(x, yz)$ . При  $z \neq 0$  частным от деления точки  $(x, y)$  на точку  $(x, z)$  будем называть точку  $(x, \frac{y}{z})$ . Если  $y > 0$ , то корнем квадратным из точки  $(x, y)$  будем считать точку  $(x, \sqrt{y})$ .

**Теорема 1.** Пусть прямые  $AD$  и  $BC$  пересекают ось абсцисс в точках  $A$  и  $B$ , а ось ординат в точках  $C$  и  $D$ . Тогда множество всех произведений точек этих прямых есть парабола, пересекающая ось абсцисс в точках  $A$  и  $B$ , с осью симметрии, параллельной оси ординат.

**Доказательство.** Докажем, что произведение данных прямых  $AD$  и  $BC$  есть парабола. По условию, данные прямые не параллельны оси ординат, а значит задаются уравнениями вида соответственно  $y = ax + b$  и  $y = a_1x + b_1$ . По условию, эти прямые не параллельны оси абсцисс, а значит  $a \neq 0$  и  $a_1 \neq 0$ . По определению, произведением данных прямых является множество  $\{(x, (ax + b)(a_1x + b_1)) \mid x \in R\}$ , задаваемое уравнением  $y = aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1$ . Поскольку  $aa_1 \neq 0$ , то это парабола, пересекающая ось абсцисс в точках  $A(-\frac{b}{a}, 0)$  и  $B(-\frac{b_1}{a_1}, 0)$ , ось которой проходит через середину отрезка  $AB$ , параллельно оси ординат. Теорема доказана.

Геометрическое моделирование утверждений теоремы в системе GeoGebra приводит к рисункам 1, 2 и 3, взятым с экрана дисплея.

В дополнение заметим, что если данные прямые  $AD$  и  $BC$  составляют с положительным направлением оси абсцисс одновременно острые (тупые) углы, то  $a$  и  $a_1$  имеют одинаковые знаки и  $aa_1 > 0$ . Ветви параболы направлены вверх (рис. 1, 3). Если же одна из данных прямых образует с положительным направлением оси абсцисс острый угол, а вторая – тупой, то  $aa_1 < 0$  и ветви параболы направлены вниз (рис. 2). Если данные прямые совпадают, то парабола касается оси абсцисс (рис.4).

Заметим, что произведение точек двух прямых, параллельных оси абсцисс, есть прямая, параллельная оси абсцисс (рис. 5).

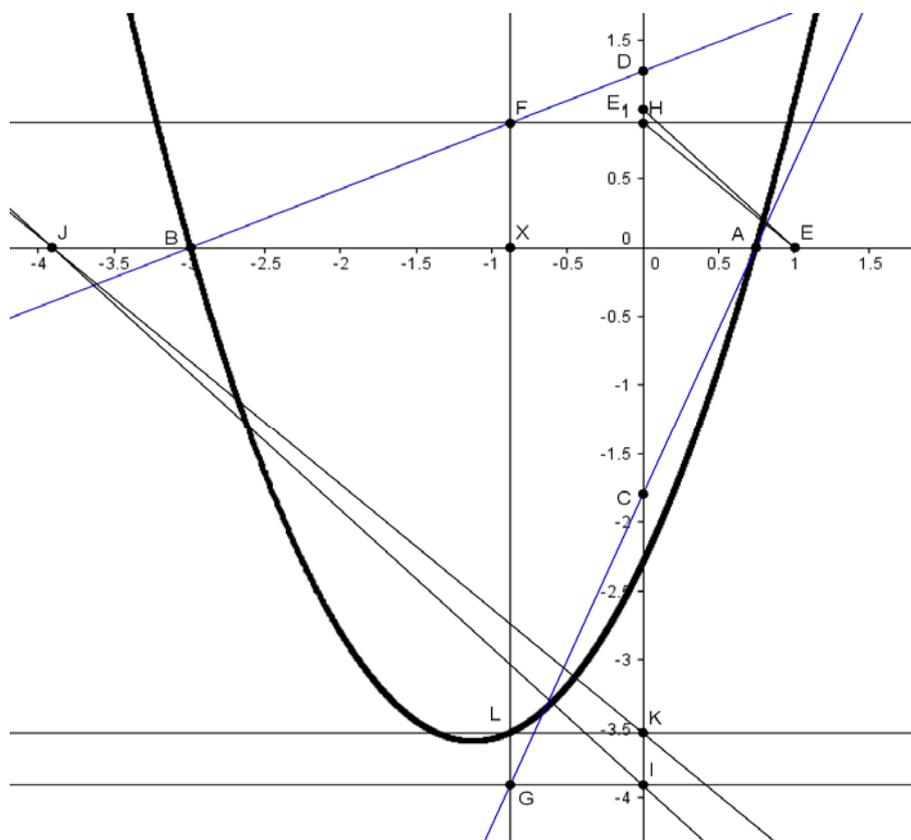
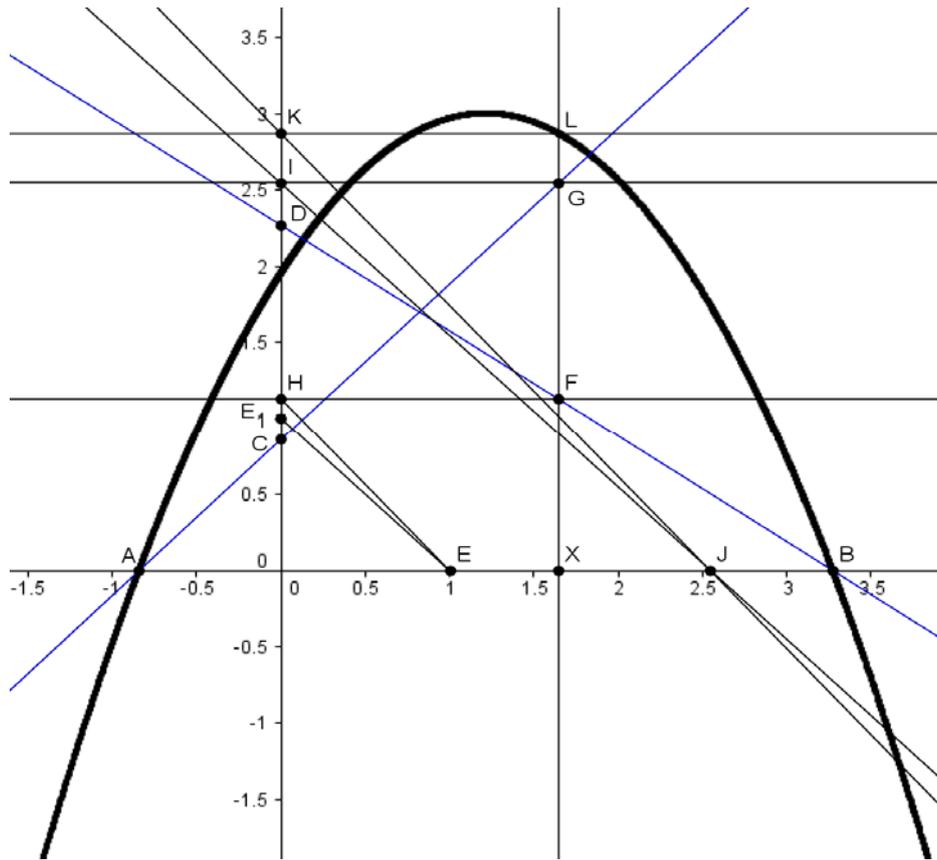
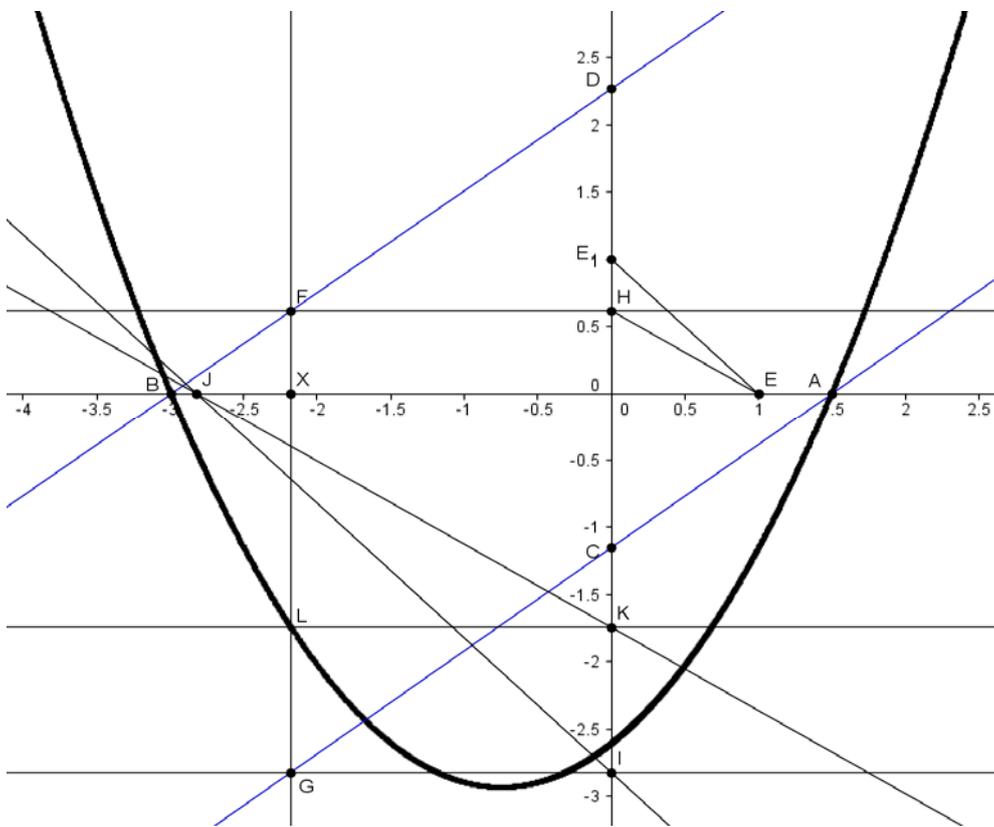


Рис. 1

**ТЕОРЕМА 2.** Пусть различные точки  $A$  и  $B$  лежат на оси абсцисс и точка  $D$  отлична от  $A$  и  $B$ . Рассмотрим параболу, являющуюся множеством всех произведений точек пары прямых  $(AD, BD)$ . Множество всех корней квадратных из точек этой параболы, абсциссы которых принадлежат отрезку  $AB$ , образует эллипс с осью  $AB$ , а множество всех корней квадратных из точек параболы, абсциссы которых не принадлежат отрезку  $AB$  вместе с концами этого отрезка образует гиперболу.



*Puc. 2*



*Puc. 3*

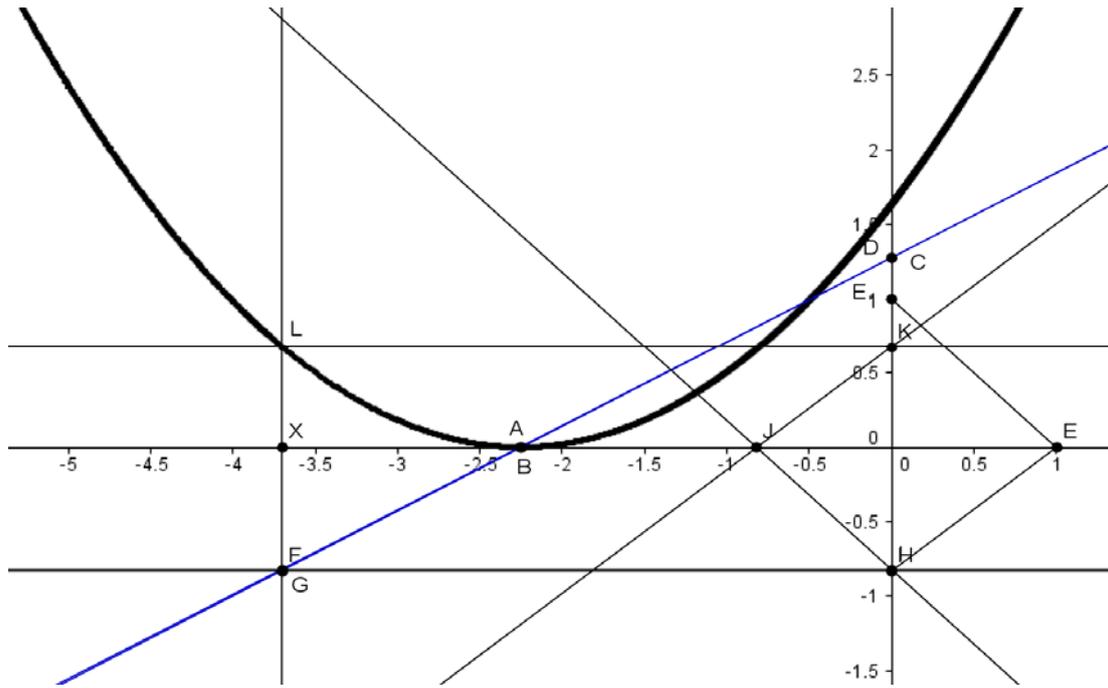


Рис. 4

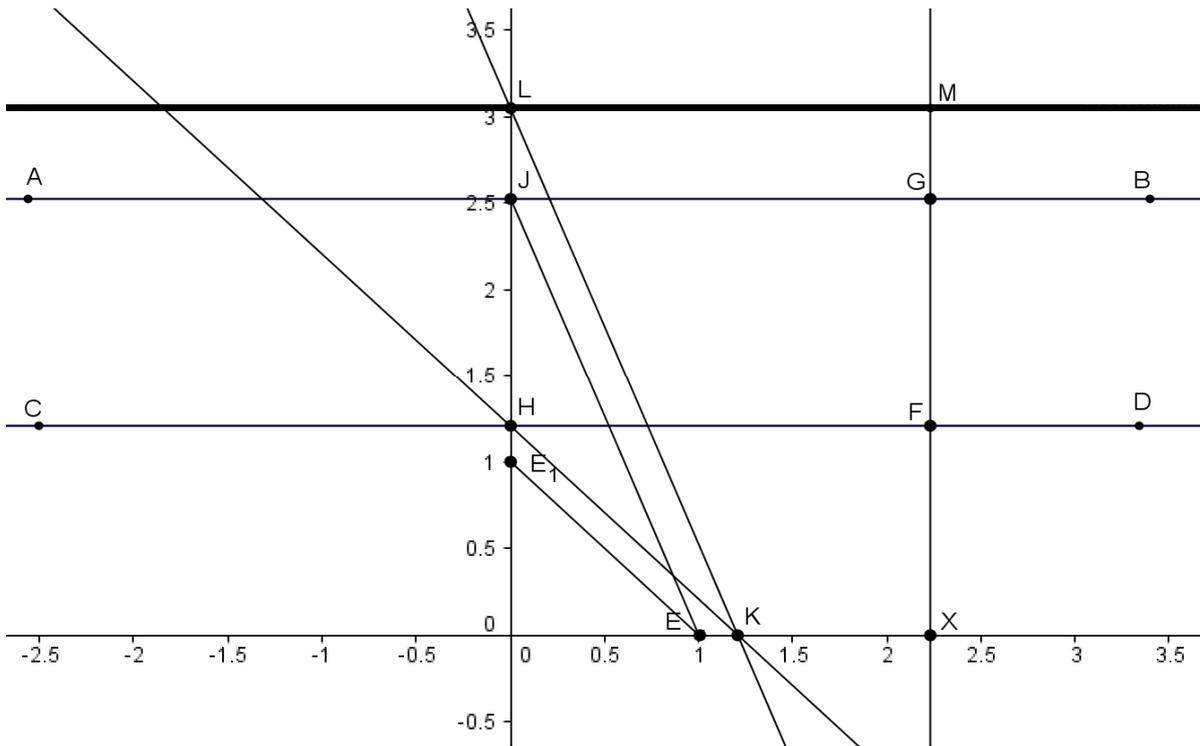


Рис.5

**Доказательство.** Пусть прямые  $AD$  и  $BD$  задаются уравнениями соответственно  $y = ax + b$  и  $y = a_1x + b_1$ . По теореме 1, множество точек  $\{(x, (ax + b)(a_1x + b_1)) \mid x \in \mathbb{R}\}$ , задаваемое уравнением  $y = aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x +$

$+bb_1$ , есть парабола, пересекающая ось абсцисс в точках  $A(-\frac{b}{a}, 0)$  и  $B(-\frac{b_1}{a_1}, 0)$ , ось которой проходит через середину отрезка  $AB$ , параллельно оси ординат.

1. Пусть  $a > 0$ ,  $a_1 < 0$  (как на рисунках 6 и 7). Тогда  $aa_1 < 0$ , а значит, ветви параболы  $y = aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1$  направлены вверх. Парабола пересекает ось абсцисс в точках  $A(-\frac{b}{a}, 0)$  и  $B(-\frac{b_1}{a_1}, 0)$ . Будем считать, что  $x_1 < x_2$ . Рассмотрим точки параболы, абсциссы которых принадлежат отрезку  $AB$ , то есть удовлетворяют неравенству  $x_1 \leq x \leq x_2$ . Ординаты этих точек неотрицательны, а значит можно извлечь корень квадратный из ординат. Докажем, что множество точек

$$M = \{(x, \pm\sqrt{aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1} \mid x_1 \leq x \leq x_2\}$$

есть эллипс, а множество точек

$$N = \{(x, \pm\sqrt{|aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1|} \mid x \leq x_1 \text{ или } x_2 \leq x\}$$

есть гипербола.

1.1. Множество точек  $M$  задается уравнениями  $y = \sqrt{aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1}$  и  $y = -\sqrt{aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1}$  при  $x_1 \leq x \leq x_2$ , а значит уравнением  $y^2 = aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1$  при тех же ограничениях на  $x$ . Это уравнение приводится к виду  $(2aa_1x + ab_1 + a_1b)^2 - 4aa_1y^2 = (ab_1 + a_1b)^2$ . Вспомним, что  $aa_1 < 0$ , поэтому это уравнение заменой переменных легко приводится к каноническому уравнению эллипса.

1.2. Множество точек  $N$  задается уравнениями  $y = \sqrt{|aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1|}$  и  $y = -\sqrt{|aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1|}$ ,  $x \leq x_1$  или  $x_2 \leq x$ , а значит уравнением  $y^2 = |aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1|$ . Поскольку  $aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1 \leq 0$ , то получаем уравнение  $y^2 = -(aa_1x^2 + (ab_1 + a_1b)x + bb_1)$ , которое приводится к виду  $(2aa_1x + ab_1 + a_1b)^2 + 4aa_1y^2 = (ab_1 + a_1b)^2$ . Так как  $aa_1 < 0$ , то это уравнение заменой переменных приводится к каноническому уравнению гиперболы. Теорема доказана.

Геометрическое моделирование утверждений теоремы 2 в системе GeoGebra приводит к рисункам 6 и 7, взятым с экрана дисплея.

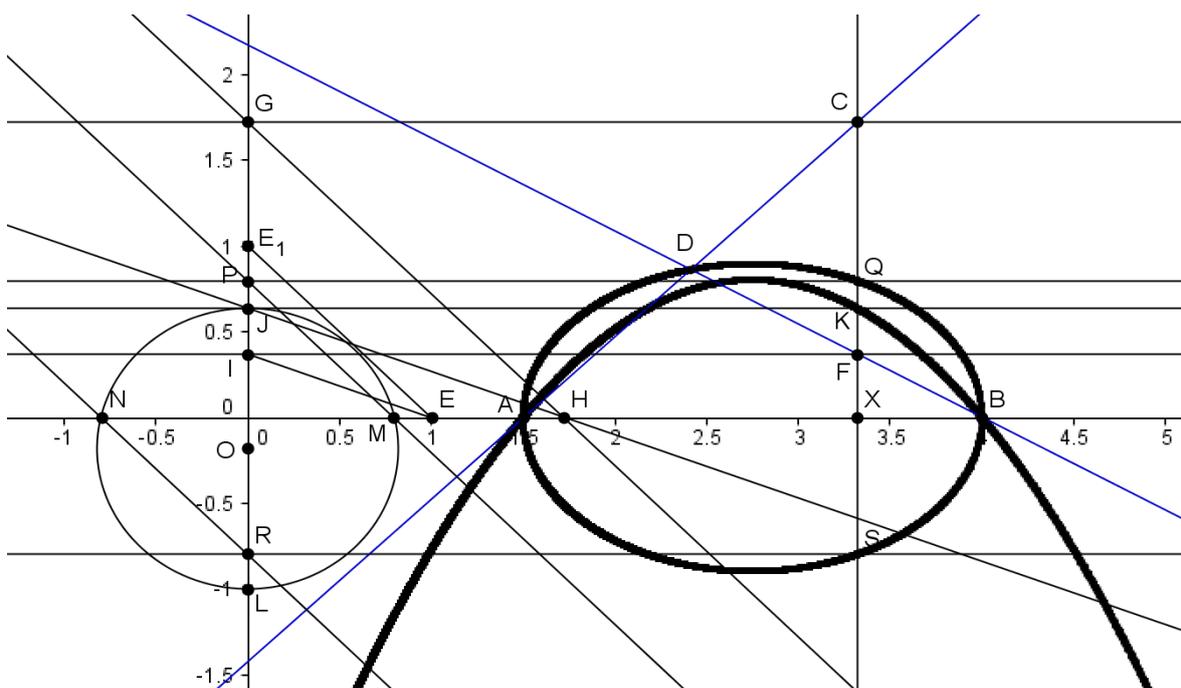


Рис. 6

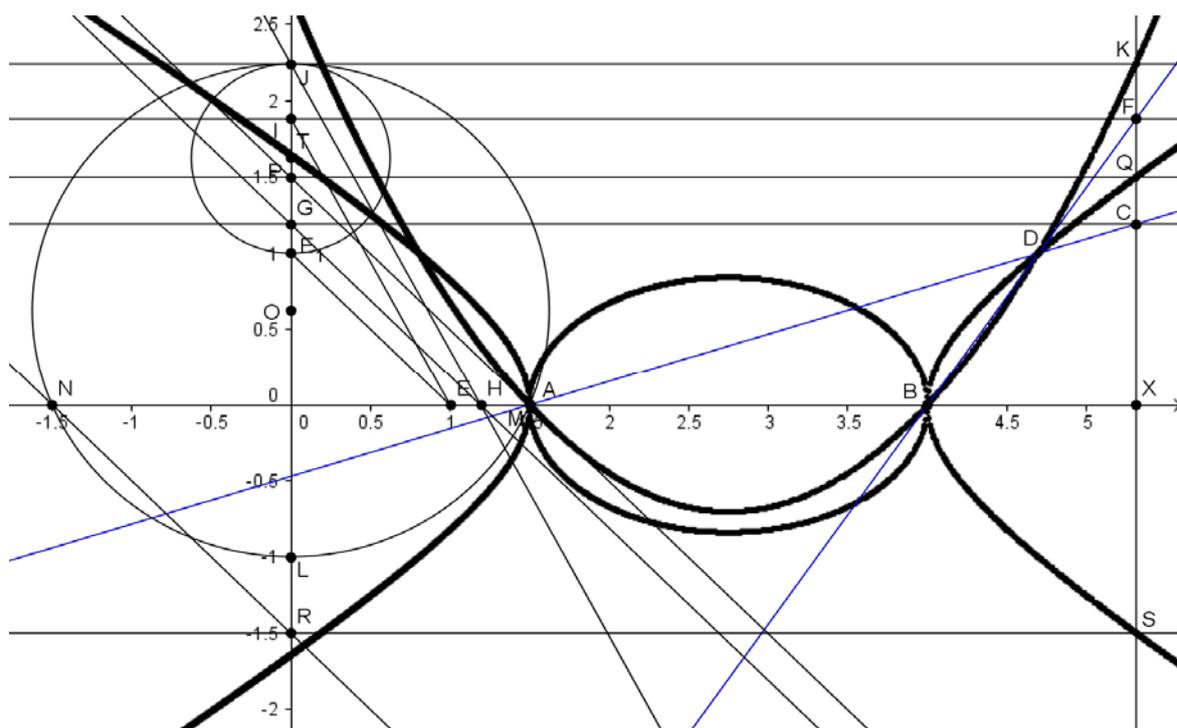


Рис. 7

**ТЕОРЕМА 3.** При любом выборе вершин треугольника  $ABC$ , основание которого  $BC$  лежит на оси абсцисс, результатом деления точек прямой  $AB$  на точки прямой  $AC$  является гипербола, проходящая через точку пересечения прямой  $AC$  с осью абсцисс, имеющая вертикальную асимптоту, проходящую через точку пересечения прямой  $AB$  с осью абс-

*цисс. При этом, гипербола не изменится, если вершину  $A$  заменить любой точкой перпендикуляра к оси абсцисс, проходящего через проекцию точки  $A$  на эту ось.*

**Доказательство.** Выбираем вершины треугольника:  $A(a,d)$ ,  $B(b,0)$ ,  $C(c,0)$ . Уравнение прямой  $AB$ :  $\frac{x-a}{b-a} = \frac{y-d}{0-d}$ , откуда  $y = \frac{d}{a-b}x - \frac{bd}{a-b}$ .

Аналогично получаем уравнение прямой  $AC$ :  $y = \frac{d}{a-c}x - \frac{cd}{a-c}$ . Результат

деления точек прямой  $AB$  на точки прямой  $AC$  есть кривая  $y = \frac{(dx-bd)(a-c)}{(dx-cd)(a-b)}$ . После сокращения на  $d$  получаем уравнение

$y = \frac{(x-b)(a-c)}{(x-c)(a-b)}$ , не зависящее от  $d$ . Это означает, что при замене точки  $A$

другой точкой  $A_1(a,b_1)$  с той же проекцией на ось абсцисс получаем ту же самую кривую.

Видим, что кривая проходит через точку  $B(b,0)$  и имеет вертикальную асимптоту, проходящую через точку  $C(c,0)$ .

Осталось доказать, что линия, задаваемая уравнением  $y = \frac{(x-b)(a-c)}{(x-c)(a-b)}$ , есть гипербола. Для этого достаточно привести это урав-

нение к каноническому виду. Геометрическое моделирование деления точек прямой  $AB$  на точки прямой  $AC$  представлено на рисунке 2, взятом с экрана дисплея. Теорема доказана.

**ТЕОРЕМА 4. 1.** *Всякую параболу при подходящем выборе прямоугольной декартовой системы координат можно представить в виде множества всех произведений точек некоторых прямых.*

2. *Всякий эллипс при подходящем выборе прямоугольной декартовой системы координат можно представить в виде множества всех корней квадратных из точек параболы  $y = b^2 - \frac{b^2}{a^2}x^2$ , абсциссы которых принадлежат отрезку  $[-a, a]$ .*

3. *Всякую гиперболу при подходящем выборе прямоугольной декартовой системы координат можно представить в виде множества всех точек, являющихся результатом деления точек одной прямой на точки другой прямой.*

**Доказательство:**

1. Известно, что парабола есть множество тех и только тех точек, каждая из которых одинаково удалена от данной точки  $F$  (называемой фокусом) и от данной прямой (называемой директрисой). Пусть расстоя-

ние от фокуса до директрисы равно  $2p$ . Определим прямоугольную декартову систему координат, взяв в качестве оси абсцисс прямую, параллельную директрисе и делящую расстояние от точки до директрисы пополам, а в качестве оси ординат – ось данной параболы. Тогда данная парабола будет задана каноническим уравнением  $x^2 = 2py$ . Перепишем его в виде  $y = (\frac{1}{2p}x) \cdot x$ . Видим, что множество всех точек параболы есть множество  $\{(x, \frac{1}{2p}x) \cdot (x, x) \mid x \in R\}$ , то есть представляет собой множество всех произведений точек прямой  $y = \frac{1}{2p}x$  на точки прямой  $y = x$  (являющейся биссектрисой 1-3 координатных углов).

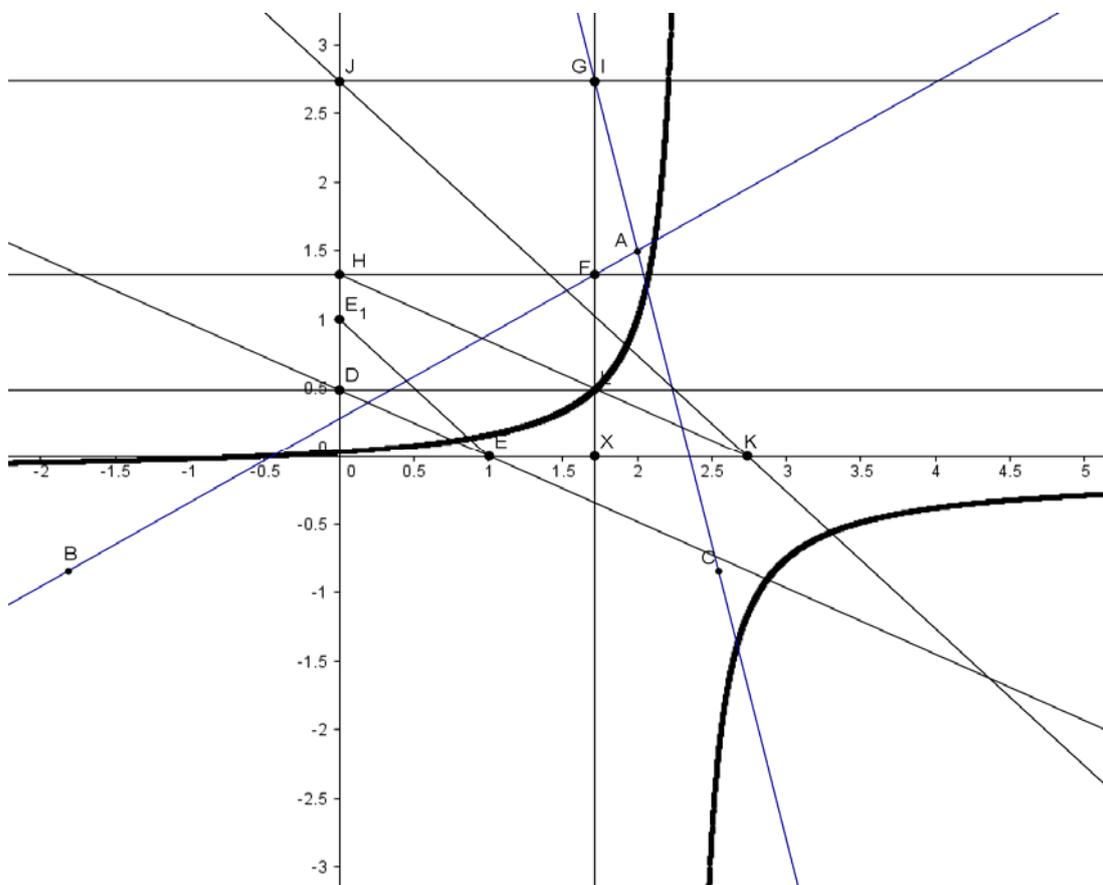


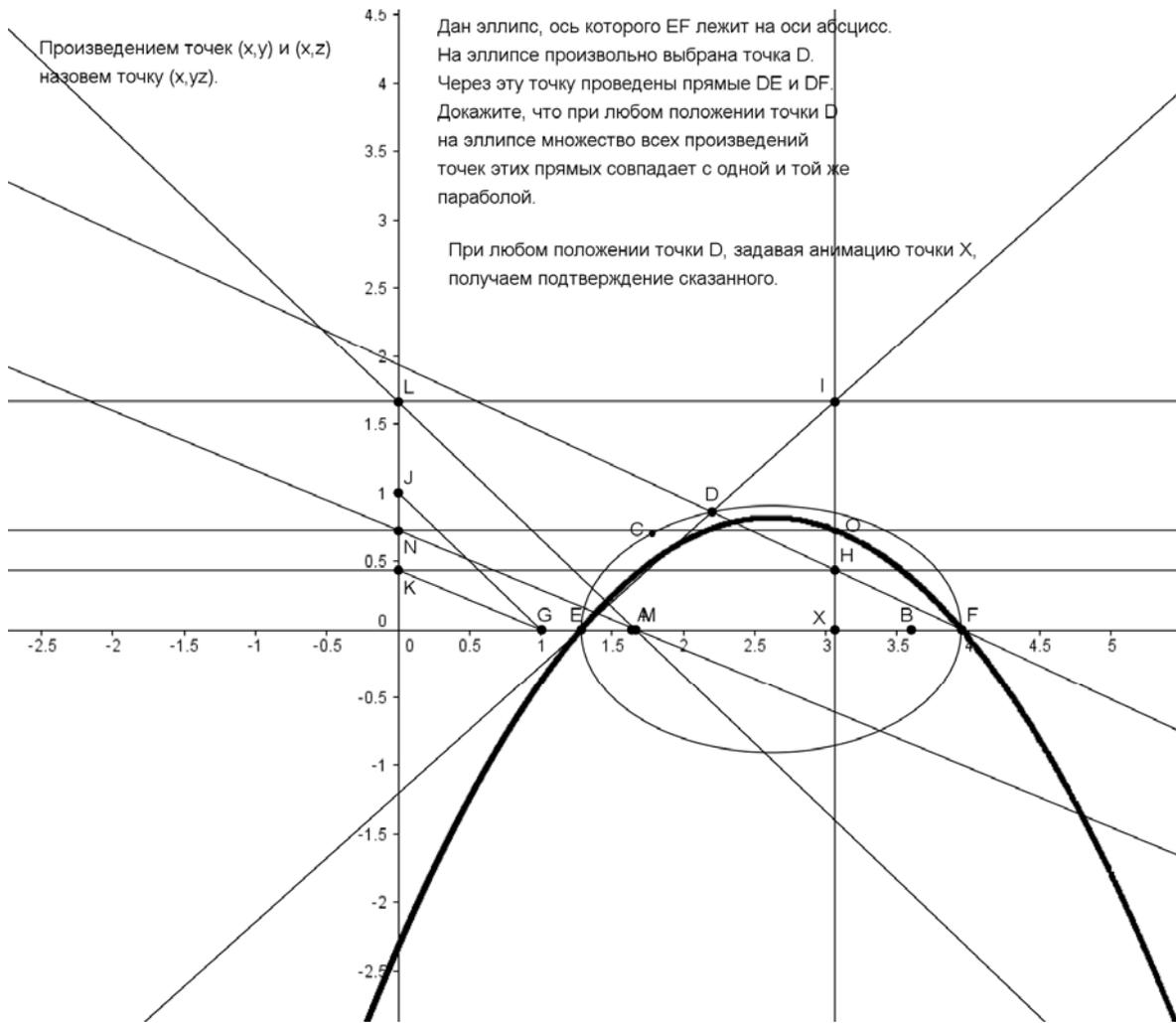
Рис. 8

2. Пусть дан эллипс. Известно, что можно выбрать прямоугольную систему координат так, чтобы данный эллипс задавался каноническим уравнением  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ . Перепишем уравнение в виде  $y^2 = b^2 - \frac{b^2}{a^2}x^2$ ,

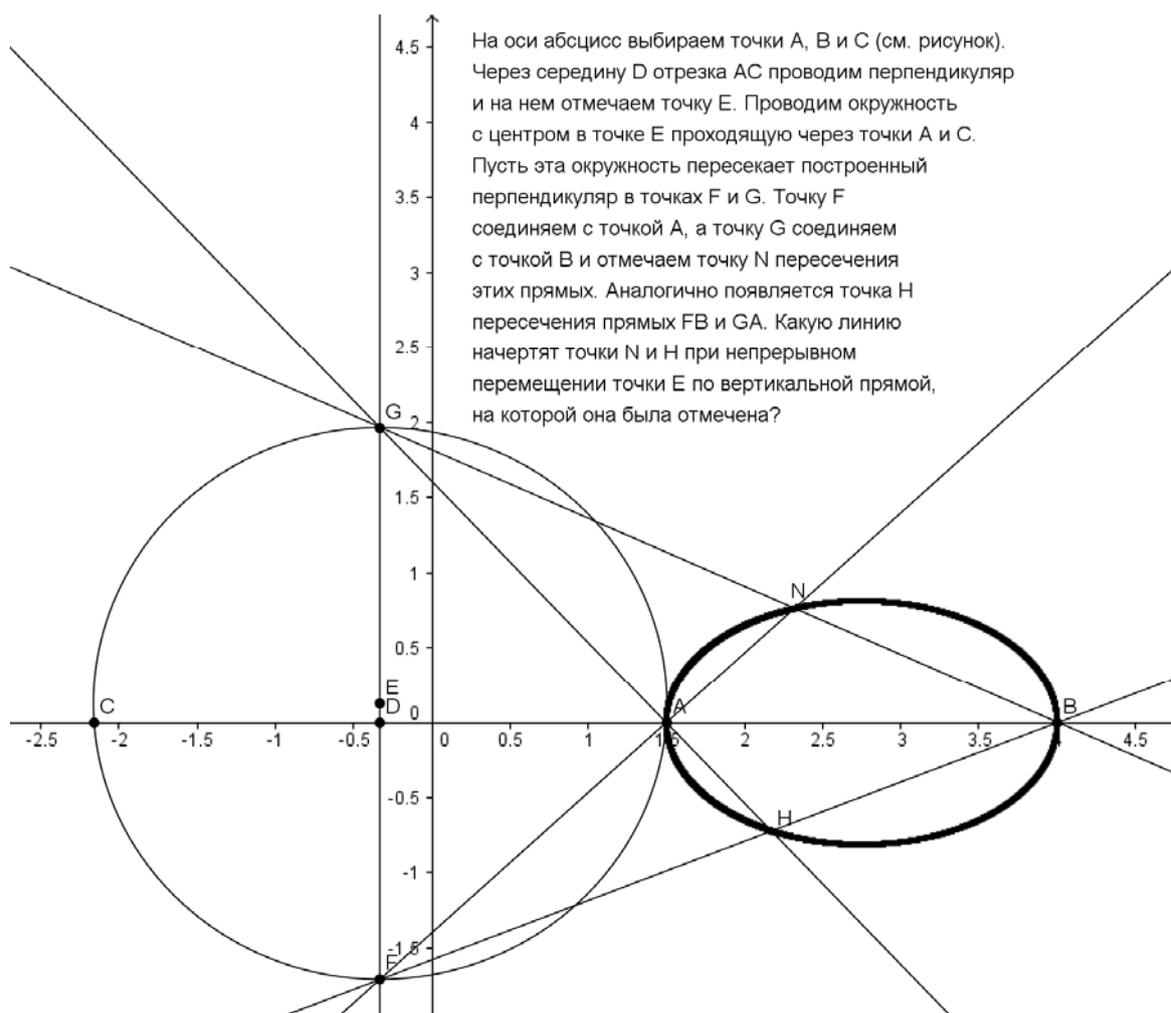
$y = \pm \sqrt{b^2 - \frac{b^2}{a^2} x^2}$ . Последнее уравнение задает множество всех корней квадратных из точек параболы  $y = b^2 - \frac{b^2}{a^2} x^2 = (b + \frac{b}{a} x)(b - \frac{b}{a} x)$ , которая представляет собой множество всех произведений точек прямых  $y = b + \frac{b}{a} x$  и  $y = b - \frac{b}{a} x$ .

**3.** Пусть дана гипербола. Известно, что можно выбрать прямоугольную систему координат так, чтобы данная гипербола задавалась каноническим уравнением  $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ . Перепишем уравнение в виде  $y = (\frac{x}{a} + \frac{y}{b})(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}) = 1$ . Перейдем к новой прямоугольной системе координат по формулам  $x' = \frac{x}{a} + \frac{y}{b}$ ,  $y' = \frac{x}{a} - \frac{y}{b}$ . В новой системе координат уравнение гиперболы примет вид  $x'y' = 1$ , или  $y' = \frac{1}{x'} = -1 + \frac{x'+1}{x'}$ ,  $y'+1 = \frac{x'+1}{x'}$ . Наконец, перейдем к новой прямоугольной системе координат по формулам  $x'' = x'$ ,  $y'' = y'+1$  и получим уравнение  $y'' = \frac{x''+1}{x''}$ . Это уравнение задает множество всех частных от деления точек прямой  $y'' = x''+1$  на точки прямой  $y'' = x''$ . Теорема доказана.

*В качестве приложения разработанных методов приведем новые способы вычерчивания параболы, эллипса и гиперболы.*



*Рис. 9. Вычерчивание параболы*



*Рис. 10. Вычерчивание эллипса*

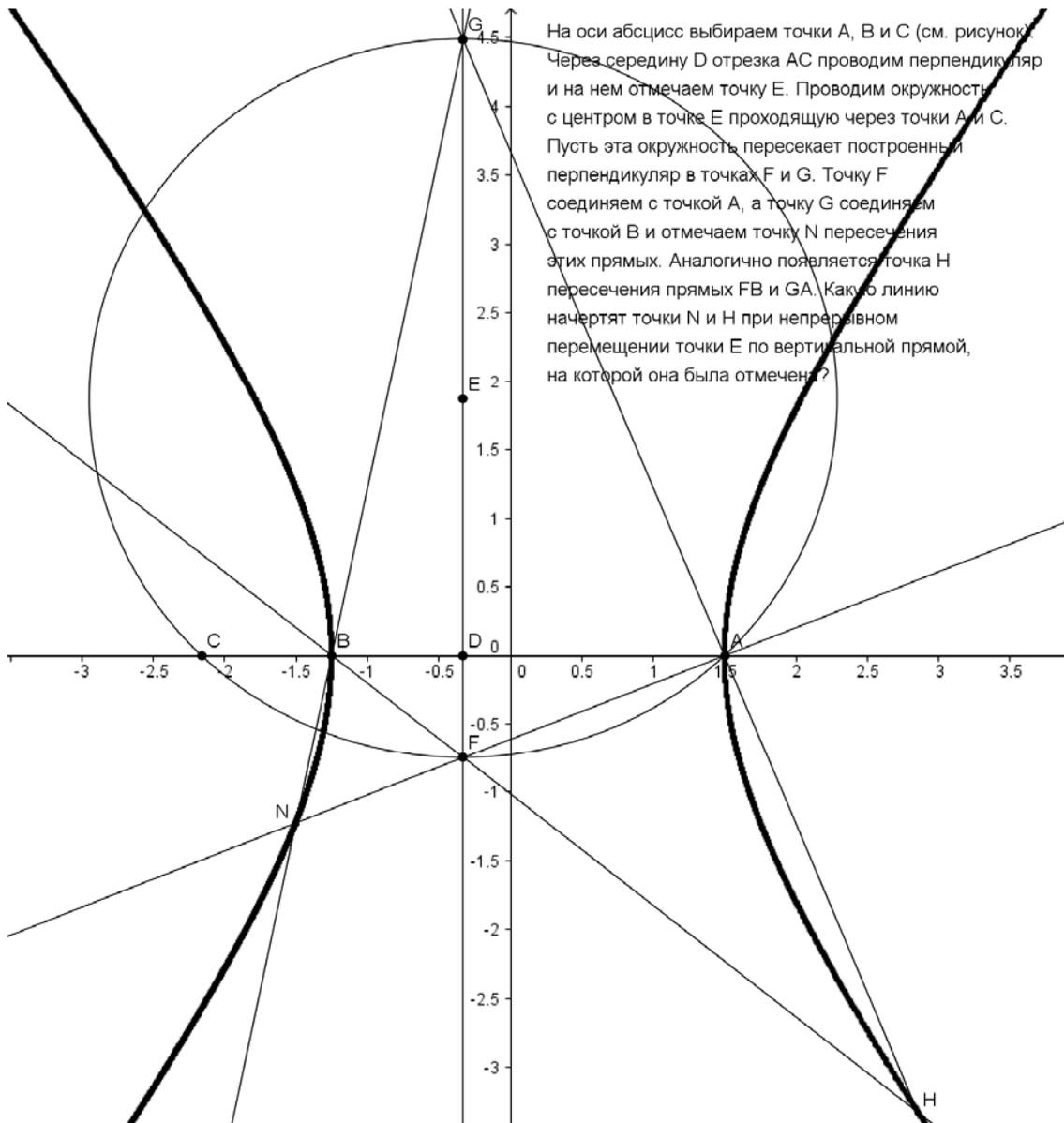


Рис. 11. Вычерчивание гиперболы

## ЭЛЕМЕНТАРНО ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ МАКСИМАЛЬНЫЕ УНИПОТЕНТНЫЕ ПОДГРУППЫ ГРУПП ШЕВАЛЛЕ

И.Н. Зотов

Научный руководитель В.М. Левчук  
Сибирский федеральный университет

В группе Шевалле над полем  $K$ , ассоциированной с системой корней  $\Phi$ , унипотентную подгруппу  $U\Phi(K)$  порождают корневые элементы  $x_r(t)$  ( $r \in \Phi^+, t \in K$ ), т. е. определенные автоморфизмы алгебры Шевалле типа  $\Phi$  над  $K$ . Мы исследуем известный вопрос об элементарно эквивалентных группах  $U\Phi(K)$ .

Две модели  $\mathcal{U}$  и  $\mathcal{U}'$  одного языка первого порядка  $\mathcal{L}$  называются элементарно эквивалентными (пишем  $\mathcal{U} \equiv \mathcal{U}'$ ), если любое предложение языка  $\mathcal{L}$  истинно в модели  $\mathcal{U}$  тогда и только тогда, когда оно истинно в модели  $\mathcal{U}'$ . Известно, что две конечные модели одного языка элементарно эквивалентны тогда и только тогда, когда они изоморфны. В общем случае, элементарно эквивалентные модели не обязаны быть даже равномогущими. Так, элементарно эквивалентны поля комплексных и алгебраических чисел. С другой стороны, конечная модель элементарно эквивалентна любой своей ультрастепени, а поэтому и как угодно большой мощности.

Согласно К. Видэла (Proceed. AMS, 109 (1990), No. 2), если некоторая группа  $G$  элементарно эквивалентна группе  $U\Phi(K)$  и  $\text{char } K \neq 2, 3$ , то существует поле  $F \equiv K$  такое, что  $G \cong U\Phi(F)$ . Его доказательство опирается на полученное Гиббсом (J. Algebra, 14 (1970)) описание группы автоморфизмов  $\text{Aut } U\Phi(K)$  при  $\text{char } K \neq 2, 3$ .

Известно, что  $p(\Phi) = \max\{(r, r)/(s, s) \mid r, s \in \Phi\}$  равно 1, 2 или 3. Доказана

**Теорема 1.** Пусть  $G \equiv U\Phi(K)$  и  $p(\Phi)!K = K$ . Тогда  $G \cong U\Phi(F)$  для некоторого поля  $F \equiv K$ .

Изложим схему доказательства, использующего описание  $\text{Aut } U\Phi(K)$  (В.М. Левчук, Алгебра и Логика, 29 (1990)). Как обычно,  $\Pi$  – база в  $\Phi$ ,  $ht(r)$  – высота корня  $r$ ,  $h$  – число Кокстера системы  $\Phi$  и  $\rho$  – максимальный корень.

Множество  $X \subset G$  называют определимым в модели  $M$ , если

$$\forall x \in X (x \in G \leftrightarrow M \models \varphi(x))$$

для какой-либо формулы  $\varphi(x)$  языка первого порядка группы  $G$  с одной свободной переменной. Если  $\varphi$  не содержит параметров, то  $X$  называют 0-определимым.

**Лемма 1.** Группу  $U\Phi(K)$  при  $p(\Phi)!K = K$  порождают корневые элементы  $x_\alpha(1)$  ( $\alpha \in \Pi$ ) вместе с их образами относительно диагональных автоморфизмов.

Если  $\Pi = \{r_1, \dots, r_n\}$ , то набор элементов  $g_1, \dots, g_n$  группы  $U\Phi(K)$ ,  $n = \text{rank } \Phi$ , называют её фреймом с обозначением  $\mathcal{F} = \{g_1, \dots, g_n\}$ , согласно К. Видэла, если коммутаторные соотношения между элементами в  $\mathcal{F}$  такие же, как и для набора  $\{x_{r_1}(1), \dots, x_{r_n}(1)\}$ , называемого стандартным фреймом.

Стандартный центральный ряд группы  $U$  образуют подгруппы

$$U_i = \langle x_r \mid r \in \Phi^+, ht(r) \geq i \rangle \quad (1 \leq i \leq h).$$

Известно, что при  $p(\Phi)!K = K$  верхний и нижний центральные ряды в  $U$  стандартны, в частности,  $U_{h-1} = X_\rho = x_\rho(K)$  – центр в  $U$ .

**Лемма 2.** Пусть  $\mathcal{F} = \{g_1, \dots, g_n\}$  – фрейм унипотентной группы  $U = U\Phi(K)$  лиевого ранга  $n$  над полем  $K$  и

$$g_i = \prod_{j=1}^n x_{r_j}(t_{ij}) \pmod{U_2}, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Тогда  $(t_{ij})$  есть обратимая диагональная матрица, с точностью до сопряжения  $\mathcal{F}$  автоморфизмом группы  $U$ , а элементы  $t_{ii}$  могут быть любыми обратимыми элементами из  $K$ .

Далее, по аналогии с К. Видэлой, мы устанавливаем определенность корневой подгруппы  $X_r$  и интерпретируемость основного поля  $K$  в центре группы  $U\Phi(K)$ , который при  $p(\Phi)!K = K$  равен  $U_{h-1} = X_\rho$ . Завершение доказательства основной теоремы связано с переходом к насыщенным моделям и тем, что для элементарно эквивалентных насыщенных моделей линейных групп основные кольца (или поля) коэффициентов изоморфны.

Отметим, что условие  $p(\Phi)!K = K$  в лемме 1 и теореме 1 нельзя отбросить.

При этом же ограничении мы исследуем вопрос об элементарно эквивалентных алгебрах  $N\Phi(K)$ , ассоциированных с унипотентными подгруппами  $U\Phi(K)$ .

*Работа поддержана грантом РФФИ и Мин.обр.науки (тема 1.34.11).*

## МГД УСТРОЙСТВА

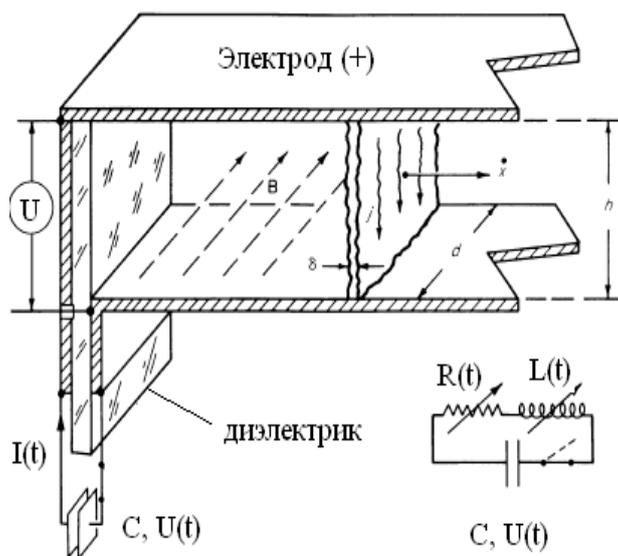
**А.А. Истягин, С.П. Комаров**  
**Научный руководитель А.В. Минаков**  
 Физико-математическая школа  
 при Сибирском федеральном университете

*Задачи:*

- Исследовать принцип работы МГД устройств.
- В перспективе - создать компьютерную модель МГД-устройства.

### МГД-Ускоритель

МГД-ускоритель - энергетическая установка, в которой энергия электромагнитного поля преобразуется в кинетическую энергию рабочего тела (жидкой или газообразной электропроводящей среды).



МГД - ускоритель состоит из канала, по которому движется рабочее тело (обычно плазма), системы электромагнитов для создания магнитного поля и электродов для отвода или подвода энергии. Для создания электропроводности газа, его необходимо нагреть до температуры термической ионизации (около 10000 К). Для работы при меньших температурах газ обогащают парами щелочных металлов, что позволяет снизить температуру смеси до 2200—2700 К.

МГД – ускорители используются для создания:

- МГД насосов.
- ЭРД(электрореактивный двигатель).

- На принципе МГД ускорителя идёт создание нового оружия, которое имеет преимущества над нынешним.

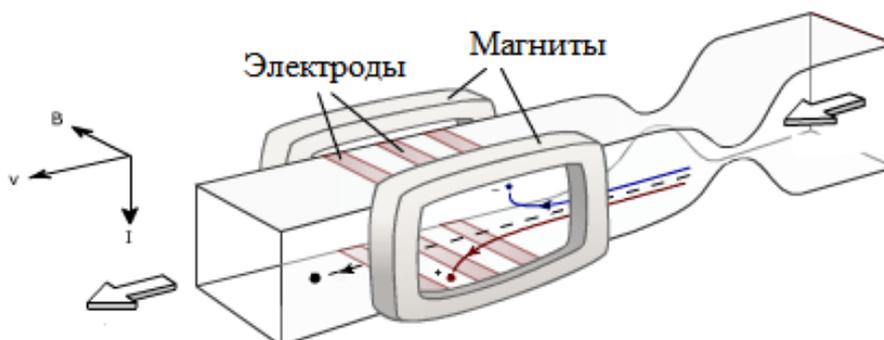
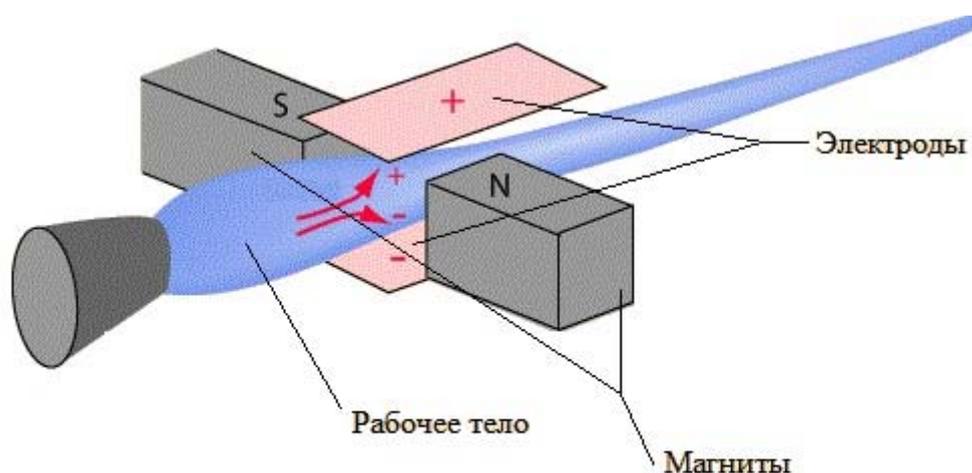
**МГД ускорители отличаются:**

- 1) По термодинамической схеме.
- 2) Энергетической или двигательной установке (ЭУ)
- 3) По геометрической форме.
- 4) По способам коммутации электродов
- 5) По режимам течения.

**Характеристики МГДУ подразделяют на интегральные, локальные и удельные.**

**МГД-генератор**

МГД-генератор — энергетическая установка, в которой тепловая и кинетическая энергия рабочего тела (жидкой или газообразной электропроводящей среды), движущегося в магнитном поле, преобразуется непосредственно в электрическую энергию.



МГД-генератор состоит из канала, по которому движется рабочее тело (токопроводящая жидкая или газообразная среда), системы постоянных магнитов, электромагнитов или других источников магнитного поля и электродов, для отведения энергии.

МГД-генераторы используют для:

- повышения эффективности энергосистем
- бортовых систем питания космической техники
- в качестве источников питания различных устройств, требующих высокой мощности на короткие промежутки времени (например, для питания электроподогревателей аэродинамических труб и т. п.).
- В качестве источников тока для исследований, где необходим высоковольтный ток на короткие промежутки времени (например, для геологических исследований и т. п.).

Системы с МГД-генераторами могут работать по открытому и замкнутому циклам. В первом случае продукты сгорания являются рабочим телом, а использованные газы после удаления из них присадки щелочных металлов (вводимой в рабочее тело для увеличения электропроводности) выбрасываются в атмосферу. В МГД-генераторах замкнутого цикла тепловая энергия, полученная при сжигании топлива, передаётся в теплообменнике рабочему телу, которое затем, пройдя МГД-генератор, возвращается, замыкая цикл, через компрессор или насос. Источниками тепла могут служить реактивные двигатели, ядерные реакторы, теплообменные устройства. Рабочим телом в МГД-генераторе могут быть продукты сгорания ископаемых топлив и инертные газы с присадками щелочных металлов (или их солей); пары щелочных металлов; двухфазные смеси паров и жидких щелочных металлов; жидкие металлы и электролиты. Но если жидкие металлы и электролиты являются природными проводниками, то для того чтобы газ стал электропроводным, его необходимо ионизовать до определённой степени, что осуществляется главным образом нагреванием до температур, достаточных для начала термической ионизации (большинство газов ионизируется только при температуре около 10000 К). Необходимая степень ионизации при меньших температурах достигается обогащением газа парами щелочных металлов; при введении в продукты сгорания щелочных металлов (например, К, Cs, Na) или их солей газы становятся проводниками уже при 2200—2700 К.

В МГД-генераторах с жидким рабочим телом генерирование электроэнергии идёт только за счёт преобразования части кинетической или потенциальной энергии потока электропроводной жидкости практически при постоянной температуре. В МГД-генераторах с газовым рабочим телом принципиально возможны три режима: с сохранением температуры и уменьшением кинетической энергии; с сохранением кинетической энергии

и уменьшением температуры; со снижением и температуры и кинетической энергии.

По способу отвода электроэнергии МГД-генераторы разделяют на кондукционные и индукционные. В кондукционных МГД-генераторах в рабочем теле, протекающем через поперечное магнитное поле, возникает электрический ток, который через съёмные электроды, вмонтированные в боковые стенки канала, замыкается на внешнюю цепь. В зависимости от изменения магнитного поля или скорости движения рабочего тела такой МГД-генератор может генерировать постоянный, как правило, или пульсирующий ток. В индукционных МГД-генераторах (по аналогии с обычными электромашинными генераторами) электроды отсутствуют. Такие установки генерируют только переменный ток и требуют создания бегущего вдоль канала магнитного поля. Возможны различные формы каналов: линейная — общая для кондукционных и индукционных МГД-генераторах; дисковая и коаксиальная холловская — в кондукционных; радиальная — в индукционных МГД-генераторах.

По системам соединений электродов различают: фарадеевский генератор со сплошными или секционированными электродами (рисунок 3, а), холловский генератор (рисунок 3, б), в котором расположенные друг против друга электроды короткозамкнуты, а напряжение снимается вдоль канала за счёт наличия поля Холла, и серийный генератор с диагональным соединением электродов (рисунок 3, в).

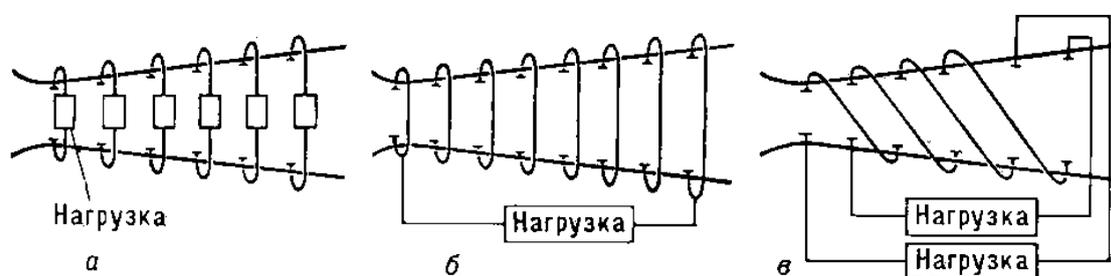


Рис. 3

Секционирование электродов в фарадеевском МГД-генераторе делается для того, чтобы уменьшить циркуляцию тока вдоль канала и через электроды (эффект Холла) и тем самым направить носители зарядов перпендикулярно оси канала на электроды и в нагрузку; чем значительнее эффект Холла, тем на большее число секций необходимо разделить электроды, причём каждая пара электродов должна иметь свою нагрузку, что весьма усложняет конструкцию установки. Применение схемы холловского МГД-генератора наиболее выгодно при больших магнитных полях. За счёт наличия продольного электрического поля в холловском и МГД-генераторах с диагональным соединением электродов можно получить

значительное напряжение на выходе генератора. Наибольшее распространение в 70-х годах получили кондукционные линейные МГД-генераторы на продуктах сгорания ископаемых топлив с присадками щелочных металлов, работающие по открытому циклу.

Мощность МГД-генератора пропорциональна проводимости рабочего тела, квадрату его скорости и квадрату напряжённости магнитного поля. Для газообразного рабочего тела в диапазоне температур 2000—3000 К проводимость пропорциональна температуре в 11—13-й степени и обратно пропорциональна корню квадратному из давления. Скорости потока в МГД-генераторе могут быть в широком диапазоне — от дозвуковых до сверхзвуковых. Индукция магнитного поля определяется конструкцией магнитов и ограничивается значениями около 2 тл для магнитов со сталью и до 6—8 тл для сверхпроводящих магнитных систем.

Основное преимущество МГД-генератора — отсутствие в нём движущихся узлов или деталей, непосредственно участвующих в преобразовании тепловой энергии в электрическую. Это позволяет существенно увеличить начальную температуру рабочего тела и, следовательно, КПД электростанции. Если после МГД-генератора поставить обычный турбоагрегат, то общий максимальный КПД такой энергетической установки достигнет 50—60%.

УДК 53

## СМАЗОЧНЫЕ СОСТАВЫ С ДОБАВЛЕНИЕМ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

**Я.Ш. Кабиров, О.А. Майер, К.А. Симонова**

**Научный руководитель А.И. Лямкин**

*Физико-математическая школа*

*при Сибирском федеральном университете*

**Цель работы:** сравнение коэффициентов трения скольжения пары сталь-алюминий без смазки, со смазывающим минеральным маслом И-20 и с использованием многофункциональной присадки УДАВ-СибМА на основе масла И-20 с добавкой алмазографитового нанопорошка детонационного синтеза.

Одной из наиболее распространенных причин отказов механизмов является износ (последствие изнашивания) деталей машин. Изнашивание является сложным физико-химическим процессом, зависящим от многих факторов: материала и качества трущихся поверхностей, скорости их вза-

имного перемещения, нагрузки, вида трения, смазывания, смазочных материалов. Различают следующие виды трения: покоя, движения, скольжения, качения, без смазочного материала и со смазочным материалом, вводимом на поверхность трения для уменьшения силы трения и (или) интенсивности изнашивания.

Трение без смазочного материала происходит между двумя телами при отсутствии на поверхностях трения введенного смазочного материала любого вида. Твердые тела при этом взаимодействуют непосредственно. Такое трение сопровождается пластическими деформациями и даже временным прочным сцеплением отдельных точек контактирующих поверхностей, что вызывает их интенсивное разрушение.

Трение со смазочным материалом происходит между двумя телами, поверхности трения которых покрыты введенным смазочным материалом любого вида.

Различают следующие виды смазки: в зависимости от физического состояния смазочного материала — газовую, жидкостную и твердую; в зависимости от разделения поверхностей трения смазочным материалом — гидродинамическую (газодинамическую), гидростатическую (газостатическую), эласто-гидродинамическую, граничную и полужидкостную (смешанную).

В данной работе применена жидкостная смазка с добавкой твердых наночастиц углерода в форме графита и алмаза со средним размером 4 нм, которые образуются в экстремальных условиях детонации взрывчатых веществ. Поскольку одной из проблем получения смазок является перемешивание, то использовался концентрат такой смазки, обработанной ультразвуком, который применяется в высокоэффективной многофункциональной присадке УДАВ-СибМА к моторным маслам карбюраторных двигателей всех типов, совместимой со всеми отечественными и импортными маслами. Присадка рекомендована для всех режимов обкатки, приработки и эксплуатации новых, изношенных и отремонтированных двигателей. Время обкатки двигателей внутреннего сгорания при использовании сокращается с 60 до 5.5 часов. Наличие графита значительно улучшает антифрикционные, противоизносные и противозадирные свойства масел. Малые частицы алмазов сглаживают особенно в начале эксплуатации микровыступы сопрягаемых рабочих поверхностей, увеличивая площадь контакта, вместе с графитом заполняют впадины и микротрещины, шаржируют и упрочняют рабочие поверхности деталей. Поверхностно-активные вещества, образующие оболочку вокруг каждой частицы, увеличивают прочность масляной пленки. Совокупное действие присадки в масле обеспечивает условия скольжения, не достижимыми другими известными методами. К тому же данный состав — экологически чистый продукт.

Представляет практический интерес определение численного значения коэффициента трения скольжения. В качестве модельной пары были взяты алюминий и сталь, часто встречающиеся в технике. В концентрате УДАВ-СИБМА алмазграфитового нанопорошка детонационного синтеза содержится около 4% по массе.

Для проведения экспериментов была адаптирована учебная лабораторная установка (рис.). Груз тянул исследуемый стальной образец по плоскости из алюминия с контролируемым наклоном. Плоскость и образец не подвергались предварительной полировке и имели шероховатую поверхность. Определялось время прохождения образца стандартной длины по закону равноускоренного движения. Точность измерения временного промежутка 0.01с. Каждый опыт проводился пять раз. Коэффициент трения скольжения определялся по формуле:

$$\mu = tg \alpha - \frac{2S}{gt^2} + \frac{m_1}{m \cos \alpha}$$

где  $\alpha$  - угол наклона плоскости,  $S$  – длина пути 0.47 м,  $t$  – время,  $m$  – масса образца,  $m_1$  – масса груза 24 г,  $g$  – ускорение свободного падения.



Результаты опытов приведены в табл.

Видно, что смазочное масло заметно уменьшает трение, а добавка углерода ведет к его дальнейшему снижению по причинам, рассмотренным выше. Причем, для концентрата присадки коэффициент трения больше, чем разбавленного маслом вдвое.

Практика применения различных наноматериалов показывает, что существует оптимальный состав с массовым содержанием наночастиц 1% и менее. Использование в смазках, не исключение, что видно из табл. Обращает на себя внимание тот факт, что коэффициент трения скольжения для массивного образца меньше, чем для легкого. Скорее всего это говорит об устойчивости смазок с углеродными добавками к повышенным нагруз-

кам и перспективе их использования в высоконагруженных механических узлах.5

**Таблица**

Масса Образца, г	Угол, град	Состав смазки	Пара металлов	Время, t	Коэф. трения скольжения, $\mu$
24	0	0	ал-ал	0,44	0,51
50	0	0	ст-ал	0,87	0,37
50	0	УДАВ: И-20 =1:1	ст-ал	1,06	0,41
120	10	0	ст-ал	1,41	0,33
120	10	И-20	ст-ал	1,16	0,31
120	10	УДАВ	ст-ал	1,03	0,29
120	10	УДАВ: И-20 =1:1	ст-ал	1,04	0,29
120	15	0	ст-ал	0,90	0,36
120	15	И-20	ст-ал	0,81	0,33
120	15	УДАВ	ст-ал	0,78	0,32
120	15	УДАВ: И-20 =1:1	ст-ал	0,77	0,27

УДК 51

**ИНТЕРАКТИВНЫЙ СЛОВАРЬ АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА  
ДЛЯ НАЧАЛЬНОЙ ШКОЛЫ. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРЕНИНГА  
И ТЕСТИРОВАНИЯ СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОННЫХ ТАБЛИЦ  
MS EXCEL 2007**

**Е.С. Кашеева**

**Научный руководитель Н.М. Андреева**

*Физико-математическая школа*

*при Сибирском федеральном университете*

**Постановка задачи.** Построить расчетный сценарий MS Excel 2007 для «отработки» базовых слов английского языка в интерактивном режиме. Объем словаря соответствует программе английского языка для начальной школы.

Сценарий работает в режиме тренинга – обучающего тестирования. Для каждого слова/словосочетания на русском языке необходимо выбрать английский эквивалент из нескольких предоставленных вариантов. Слова «отрабатываются блоками», в блоке 20 слов. Оценка за выполнение зада-

ния равна числу верных ответов в блоке. В зависимости от оценки высвечиваются комментарии:

- от 15 до 20 верных ответов - «Молодец-все верно, хорошо»,
- от 10 до 14 - «Удовлетворительно»,
- в остальных случаях – «Пробуй еще».

Тест можно повторять несколько раз. Предусмотрена возможность просмотра правильного ответа.

По такой же схеме выполняется тренинг по поиску соответствия английским словам/словосочетаниям русских эквивалентов.

Команда озвучивания английских слов закрепляется за командной кнопкой на рабочем листе MS Excel.

В результате работы создана оболочка для обучающего тестирования.

План создания справочника:

1. На рабочем листе MS Excel в диапазоне C26:F45 создаем справочник, в котором указываем английские слова/словосочетания (диапазон C26:C45) и соответствующие им русские эквиваленты (диапазон F26:F45). Для автоматического поиска слов в справочнике (диапазон C26:F45) его необходимо упорядочить по возрастанию значений в столбце C26:C45 (рис. 1).

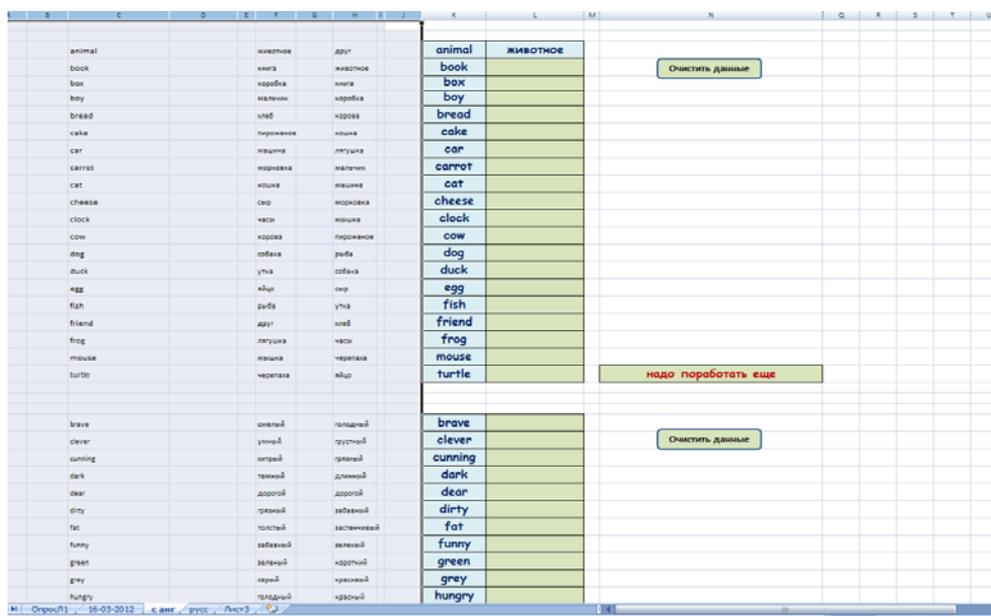


Рис. 1. Рабочее поле тестирования

2. Диапазон K26:L45 – рабочее поле тренинга. В столбце K26:K45 указываем список английских слов/словосочетаний. В ячейки столбца L26:L45 организуем ввод значений с проверкой данных по списку. В спи-

сок возможных значений (диапазон H26:H45) занесем все русские эквиваленты, упорядоченные в алфавитном порядке (рис. 2).

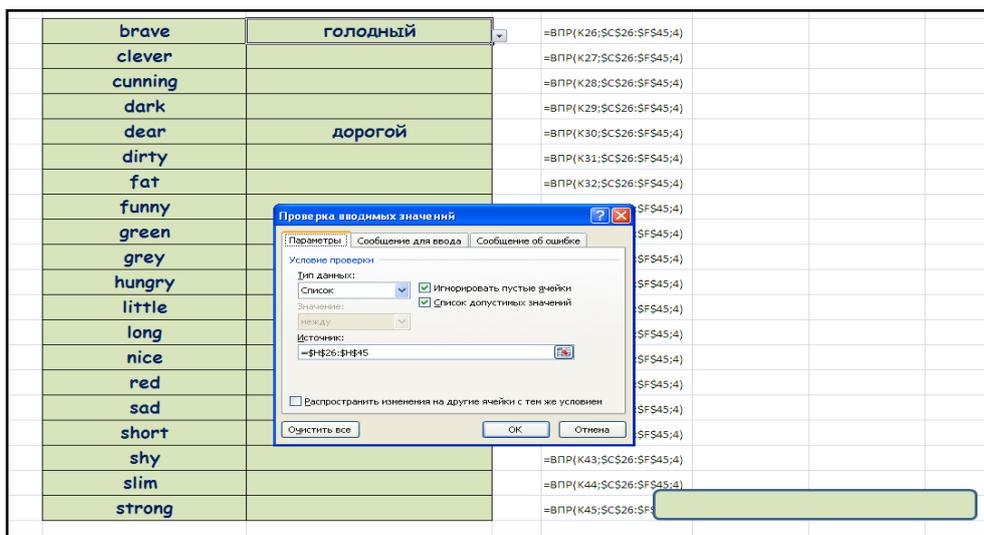


Рис. 2. Ввод данных с проверкой по списку

3. Функция ВПР() заносит правильный ответ в столбец O26:O45. Корректность выбранного ответа проверяет функция ЕСЛИ(). Она заносится в ячейки столбца P26:P45. При этом в столбике O находится значение слова из столбика K. В столбике P идет сравнение слов, если правильно, то 1, если нет, то 0. Общую оценку за выполненный тест определяет итоговая функция СУММА().

В зависимости от оценки высвечиваются комментарии:

- от 15 до 19 верных ответов - «Молодец-все верно, хорошо»,
- от 10 до 14 - «Удовлетворительно»,
- в остальных случаях – «Пробуй еще».

4. Для визуального отображения результатов тестирования выделим некорректные ответы цветом в общем списке:

- если слово выбрано неверно, то ячейка остается зеленой,
- если слово выбрано верно, то цвет ячейки становится голубым.

Такие команды прописываются с помощью «Диспетчера правил условного форматирования» (рис. 3).

5. Для того, чтобы пройти тестирование заново, нужно нажать на кнопку «Очистить данные». Макрос, закрепленный за этой кнопкой стирает ответы столбике L26:L45 (рис. 4).

6. Построенный сценарий работает на одном рабочем листе. Этот рабочий лист копируем, все расчетные формулы работают на листе-копии. Заносим на листе-копии в диапазон-справочник новый блок английских слов/словосочетаний, построенный сценарий-тренинг обеспечивает «отработку» этих слов.

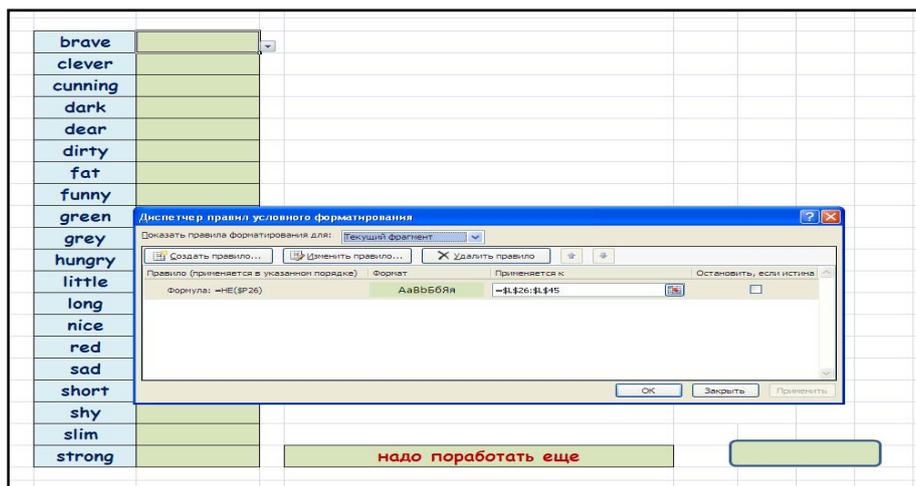


Рис. 3. Диспетчер правил условного форматирования

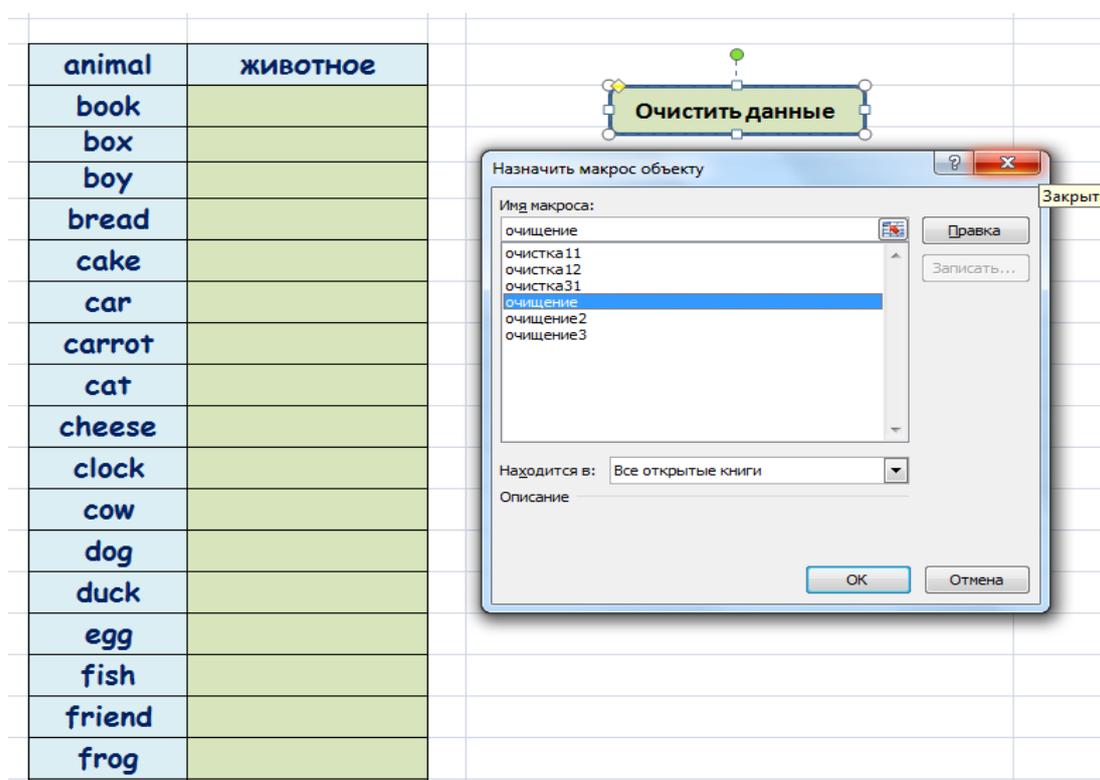


Рис. 4. Закрепление макроса за кнопкой

7. По такой же схеме построим сценарий-тренинг для перевода с русского на английский.

## Заключение

В действующем варианте реализован алгоритм сопоставления русско-английских и англо-русских слов/словосочетаний. По блоку из 19 слов формируется оценка корректности решения теста. Обеспечивается повторное прохождение теста. Переход с одного рабочего листа на другой

(для тренинга по нескольким блокам слов/словосочетаний) - по команде пользователя.

Не реализовано: озвучивание английских слов и автоматический переход к следующему блоку тестирования – на другой рабочий лист.

УДК 517.55

## **НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ**

**А.С. Керп, А.С. Лукоткин**

**Научный руководитель А.К. Цих**

*Физико-математическая школа*

*при Сибирском федеральном университете*

Квантовая информатика – новый раздел науки, возникший на стыке квантовой механики, алгоритмов и теории информации. В квантовой информатике изучаются общие принципы и законы, управляющие динамикой сложных квантовых систем. Моделью таких систем является Квантовый компьютер – вычислительное устройство, работающее на основе квантовой механики. Он принципиально отличается от классических компьютеров, работающих на основе классической механики. Полномасштабный квантовый компьютер является пока гипотетическим устройством, сама возможность построения которого связана с серьезным развитием квантовой теории в области многих частиц и сложных экспериментов. Ограниченные квантовые компьютеры уже построены; элементы квантовых компьютеров могут применяться для повышения эффективности вычислений уже на существующей приборной базе.

Идея построения квантового компьютера была предложена в 1980 г. советским математиком Ю. И. Маниным, который во введении к книге «Вычислимое и невычислимое» выдвинул идею квантовых автоматов. Эту идею поддержали физики, в частности, П. Бениоф и Нобелевский лауреат Р. Фейнман.

Необходимость в квантовом компьютере возникает тогда, когда мы пытаемся исследовать методами физики сложные многочастичные системы, подобные биологическим. Пространство квантовых состояний таких систем растет как экспонента от числа  $n$  составляющих их реальных частиц, что делает невозможным моделирование их поведения на классических компьютерах уже для  $n=10$ . Поэтому Фейнман и предложил построение квантового компьютера, который использует для вычисления неклассические алгоритмы.

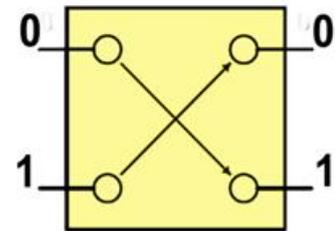
Согласно фон Нейману (1946) ЭВМ состоит из следующих основных блоков:

1. Устройство ввода/вывода информации.
2. Память компьютера.
3. Процессор, состоящий из устройства управления (УУ) и арифметико-логического устройства (АЛУ).

Среди общих принципов работы ЭВМ есть Принцип двоичного кодирования: вся информация кодируется с помощью двоичных символов, т.е. имеющих только два состояния – 0 и 1.

Процессор состоит из набора схем, собранных из логических элементов.

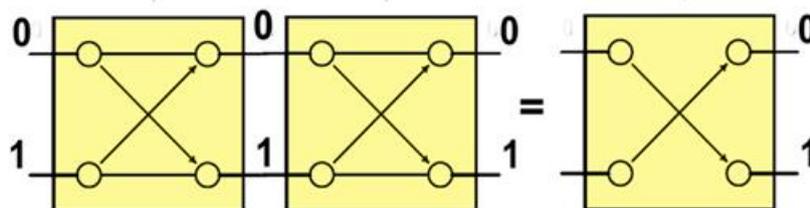
Логический элемент – устройство ЭВМ, выполняющее одну определенную операцию над входными сигналами согласно правилам алгебры логики (восходящим к Аристотелю). Например, логический элемент, отражающий переход к отрицанию, изображается следующей схемой:



Логический элемент «НЕ»

В рамках действительного анализа нельзя построить логический элемент  $\sqrt{\text{НЕ}}$ , т.е. такой, для которого  $\sqrt{\text{НЕ}} \times \sqrt{\text{НЕ}} = \text{НЕ}$

Отражающая это равенство техническая схема такая:

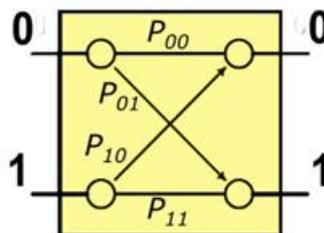


Для большей общности предполагается, что переходы  $0 \rightarrow 0$ ,  $0 \rightarrow 1$ ,  $1 \rightarrow 0$ ,  $1 \rightarrow 1$  происходят с вероятностями  $P_{00}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{10}$ ,  $P_{11}$ .

Для элемента «НЕ» имеем:

$$P_{00}=P_{11}=0$$

$$P_{01}=P_{10}=1$$



Вероятностная схема преобразования двух сигналов

Для схемы  $\sqrt{NE} \times \sqrt{NE}$

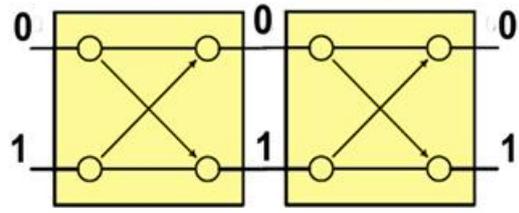
имеем:

$$P_{00}P_{00}+P_{01}P_{10}=0$$

$$P_{00}P_{01}+P_{01}P_{11}=1$$

$$P_{10}P_{00}+P_{11}P_{10}=1$$

$$P_{11}P_{11}+P_{10}P_{01}=0$$



Поскольку  $P_{ij} \geq 0$ , получаем  $P_{00}=P_{11}=0$ , тем самым  $P_{00}P_{01}+P_{01}P_{11}=1$  или  $P_{10}P_{00}+P_{11}P_{10}=1$  сводится к  $0=1$ . Таким образом, данная схема нереализуема для вещественных неотрицательных чисел.

Путь к реализации равенства подсказывает квантовая механика, в которой под амплитудой вероятности перехода  $i \rightarrow j$  подразумевает комплексное число  $c_{ij}$ , для которого  $p_{ij} = |c_{ij}|^2$ . Таким образом, если в данном неравенстве заменить  $p_{ij}$  на комплексные числа  $c_{ij}$ , то тогда следует рассмотреть уравнения

$$P(0 \rightarrow 0) = |c_{00}c_{00} + c_{01}c_{10}|^2$$

$$P(0 \rightarrow 1) = |c_{00}c_{01} + c_{01}c_{11}|^2$$

$$P(1 \rightarrow 0) = |c_{10}c_{00} + c_{11}c_{10}|^2$$

$$P(1 \rightarrow 1) = |c_{11}c_{11} + c_{10}c_{01}|^2$$

Данная система уравнений имеет множество решений, некоторые из которых уже были вычислены. Например:

$$c_{00} = c_{11} = i/\sqrt{2}, c_{01} = c_{10} = 1/\sqrt{2}.$$

В ходе работы с данной системой нам удалось выяснить, что решения системы на множестве  $\mathbb{C}$  составляют векторы, параметрированные тремя переменными  $\alpha, \beta, \varphi (\in [0; 2\pi])$ .

$$c_{00} = c_{11} = e^{i\alpha}/\sqrt{2}, c_{01} = e^{i\beta}/\sqrt{2}, c_{10} = e^{i\varphi}/\sqrt{2}.$$

Но нам удалось данные решения свести к двум параметрам:

$$c_{00} = c_{11} = e^{i\alpha}/\sqrt{2}, c_{01} = e^{i\beta}/\sqrt{2}, c_{10} = e^{i(\pi+2\alpha-\beta)}/\sqrt{2}.$$

Итак, цели нашей работы заключаются в следующем:

1. Найти другие корни данной системы уравнений либо доказать, что их больше нет.
2. Построить квантовый компьютер с использованием неклассических логических элементов.
3. Найти другие неклассические логические элементы.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОЕМОВ. ПОСТРОЕНИЕ ТОЧЕЧНОЙ МОДЕЛИ ЭКОСИСТЕМЫ ВОДОЕМА**

**А.Н. Козловская**  
**Научный руководитель В.Е. Распопов**  
*Сибирский федеральный университет*

Проблема эвтрофирования водоемов (ухудшения качества воды) привлекает все более широкое и пристальное внимание как научных, так и практических работников, связанных с охраной и использованием водных ресурсов планеты. Решение этой проблемы имеет большое практическое значение. Изучение процессов происходящих в экосистемах с помощью математических методов становится все более актуальным, так как дает возможность прогнозировать состояние экосистем и рассматривать влияние на них внешних факторов, не подвергая риску сами экосистемы. В этом состоит основное преимущество моделирования.

Необходимым условием для построения содержательных математических моделей является наличие подробной естественнонаучной информации об устройстве и механизмах функционирования системы. Основными принципами, используемыми при построении моделей, являются универсальные законы сохранения. Уравнения должны содержать количественные выражения принятых гипотез о специфических экологических процессах (рождаемости, смертности, питания и т.д.).

Природные экосистемы являются сложными комплексными системами. Для изучения этих систем их расчленяют на простые подсистемы посредством абстрагирования от относительно слабых взаимодействий.

Для исследования сложных процессов в объектах, изменяющихся с течением времени, применяются математические модели в виде дифференциальных уравнений (или систем дифференциальных уравнений).

Уравнения моделей составляются на основании физических, химических, биологических законов.

Решения таких систем дифференциальных уравнений являются функциями времени и, следовательно, могут описывать изменения во времени процессов, происходящих внутри моделируемых объектов.

В области математического моделирования экологических систем наиболее длинный путь пройден для водных экосистем. Соответственно здесь имеются наибольшие достижения. Это связано с достаточно определенной структурой водных живых систем, известными направлениями переноса вещества в пространстве, сравнительно слабым влиянием неизвест-

ных случайных факторов. Во всяком случае, этим водные экосистемы отличаются от наземных.

Исследования любой природной системы в настоящее время невозможно без учета антропогенного воздействия, которому она в той или иной степени подвергается. Анализ последствий такого воздействия сложен, но важен с точки зрения развития и изменения природной системы. Такой анализ рационально проводить с помощью математических моделей – это и дешевле других способов и не требует, как правило, дополнительного вторжения в природную среду.

Основу функционирования экосистемы составляют нижние трофические уровни: планктон, бактерии, простейшие. От этих уровней зависят скорости и объемы потоков вещества или энергии в системе. Модели фитопланктонных и микробиологических сообществ чаще всего основаны на системах дифференциальных уравнений. Изучение и моделирование первичной продукции является предметом многочисленных исследований. Выработана концепция лимитирующих факторов и способы ее математической формализации. Традиционный путь изучения сообществ микроорганизмов заключается в моделировании непрерывных культур. Скорость размножения может зависеть от концентрации клеток, концентрации субстрата, температуры, рН среды и прочих факторов [2]. В микробиологических системах, как правило, скорость роста лимитируется концентрацией субстратов.

При моделировании динамики фитопланктона важную роль играет учет влияния уровня освещенности на скорость роста организмов.

Для фитопланктона минеральными веществами, способными лимитировать рост, являются соединения на основе азота, фосфора, кремния и углерода. Существуют, однако, данные, что представление о постоянстве клеточного состава не является верным. На непостоянство стехиометрических соотношений углерода, азота и фосфора в составе фитопланктона указывал С.Йоргенсен. Для естественных озерных сообществ пресноводных микроводорослей он приводит диапазон отклонений соотношения «азот-фосфор» в клетке от 4,1 до 291. Процессы поглощения минеральных веществ из среды клетками фитопланктона и его рост – существенно независимые процессы. И, следовательно, модели, игнорирующие этот факт, не отражают, по крайней мере, три явления, наблюдаемые в природе: скорости роста фитопланктона и потребления питательных веществ могут быть различными и, в частности, скорость потребления может сильно превышать скорость роста; высокая скорость роста может иметь место при очень низких концентрациях ресурсов в среде; доля биогенного элемента (азота, фосфора) в клетках фитопланктона может сильно варьироваться на протяжении вегетативного периода.

Одним из факторов, влияющих на формирование структуры экологических сообществ, является конкуренция. Конкуренция в самом широ-

ком смысле – это взаимодействие организмов, стремящихся получить один и тот же ресурс. Конкурентное взаимодействие может касаться пространства, пищи или биогенных элементов, света, зависимости от хищников и т.д. Межвидовая конкуренция за питание может привести либо к установлению равновесия между двумя видами, либо к замене популяции одного вида на популяцию другого, либо к тому, что один вид вытеснит другой в иное место или же заставит его перейти на использование иной пищи. При конкуренции близкородственных или сходных в иных отношениях видов наблюдается тенденция к их экологическому разделению (близкородственные, ведущие сходный образ жизни и обладающие сходной морфологией, организмы обитают в разных местах или используют разные ресурсы или разное время активности при занятии одного местообитания). Эта тенденция получила известность как принцип конкурентного исключения Гаузе .

На Базовой кафедре вычислительных и информационных технологий Сибирского федерального университета разработана точечная модель экосистемы водоема. Эта модель учитывает следующие процессы происходящие в водоеме:

- Рост организмов,
- Смертность,
- Дыхание (выделение),
- Переходы по пищевой цепи,
- Оседание веществ,
- Изменения биогенных веществ.

Эта модель представляет собой систему из 10 обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих изменения концентраций зеленых водорослей (CA0), сине-зеленых (CA1) и диатомовых (CA2) водорослей, зоопланктона (CZ), бактериопланктона (CB), детрита (CD), растворенных в воде фосфора(PS), азота (NS), органики (POB) и кислорода (O2).

Данная модель была модифицирована. Мы добавили в нее функцию изменения концентрации кремния в воде (1.1).

Эту функцию мы ввели, так как нами было установлено, что в жизни диатомовых водорослей кремний играет особую роль, он им необходим для построения панциря. Усваивается кремний диатомовыми водорослями в виде кремниевой кислоты и органических соединений кремния. Потребность в кремнии у диатомей различная и зависит от местообитания и физиологического состояния клеток. В период обильного размножения, диатомей испытывают наибольшую потребность в кремнии: недостаточное содержание его в воде вызывает замедление темпов деления и приводит к уменьшению толщины панциря. Диатомовые водоросли доминируют над остальными, и являются кормовыми, поэтому они представляют для нас наибольший интерес.

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{dCA0}{dt} = (mA0 - RA0 - MA0) \cdot CA0 + \alpha_0 \cdot CA1 \cdot CA0 + f_1(t, x), \\
\frac{dCA1}{dt} = (mA1 - RA1 - MA1) \cdot CA1 - \alpha_1 \cdot CA1 \cdot CA0 + f_2(t, x), \\
\frac{dCA2}{dt} = (mA2 - RA2 - SA2 \cdot F_{Si}(T) - MA2 \cdot F_{Si}(T)) \cdot CA2 - \frac{mZ \cdot CZ}{Y1} + f_3(t, x), \\
\frac{dCZ}{dt} = (mZ - RZ - MZ) \cdot CZ + f_4(t, x), \\
\frac{dCB}{dt} = (mB - RB - MB) \cdot CB - \frac{mZ \cdot CZ}{Y2} + f_5(t, x), \\
\frac{dCD}{dt} = MA0 \cdot CA0 + MA1 \cdot CA1 + MA2 \cdot CA2 + MZ \cdot CZ + MB \cdot CB - \\
- SA3 \cdot CD - \frac{mB \cdot CB}{Y3} - \frac{mZ \cdot CZ}{Y4} + f_6(t, x), \\
\frac{dPS}{dt} = -(mA0 - RA0) \cdot PP0 \cdot CA0 - (mA1 - RA1) \cdot PP1 \cdot CA1 - \\
- (mA2 - RA2) \cdot PP2 \cdot CA2 + RZ \cdot CZ \cdot PP3 + RB \cdot CB \cdot PP4 + f_7(t, x), \\
\frac{dNS}{dt} = RA0 \cdot PN0 \cdot CA0 + RA1 \cdot PN1 \cdot CA1 - (mA2 - RA2) \cdot PN2 \cdot CA2 + \\
+ RZ \cdot CZ \cdot PN3 + RB \cdot CB \cdot PN4 + f_8(t, x), \\
\frac{dPOB}{dt} = -\frac{mB \cdot CB}{Y5} + h_0 \cdot RA0 \cdot CA0 + h_1 \cdot RA1 \cdot CA1 + h_2 \cdot RA2 \cdot CA2 + \\
+ h_3 \cdot RZ \cdot CZ + h_4 \cdot RB \cdot CB + f_9(t, x), \\
\frac{dO2}{dt} = K1 \cdot (O20 - O2) + K_{acc} \cdot (mA0 \cdot CA0 + mA1 \cdot CA1 + mA2 \cdot CA2) - \\
- alf \cdot (RA0 \cdot CA0 + RA1 \cdot CA1 + RA2 \cdot CA2 + RZ \cdot CZ + RB \cdot CB) - \\
- B1 \cdot mZ \cdot CZ + f_{10}(t, x)
\end{array} \right. \quad (1.1)$$

При моделировании используются следующие функции:

- Удельные скорости роста зеленых ( $mA0$ ), сине-зеленых ( $mA1$ ), диатомо-вых ( $mA2$ ) водорослей, зоопланктона ( $mZ$ ) и бактериопланктона ( $mB$ )

$$mA0 = mA0max \cdot S0(T) \cdot L1(E) \cdot \frac{PS}{KP0 + PS},$$

$$mA1 = mA1max \cdot S1(T) \cdot L1(E) \cdot \frac{PS}{KP1 + PS},$$

$$mA2 = mA2max \cdot F_{Si}(T) \cdot S2(T) \cdot L2(E) \cdot \frac{NS}{KN2+NS} \cdot \frac{PS}{KP2+PS}, \quad (1.2)$$

$$mZ = mZmax \cdot S3(T) \cdot \frac{O2}{Z02 + O2} \cdot \frac{A1 \cdot CD + A2 \cdot CB + A3 \cdot CA2}{CON + A1 \cdot CD + A2 \cdot CB + A3 \cdot CA2},$$

$$mB = mB_{max} \cdot S4(T) \cdot \frac{O2}{KO2 + O2} \cdot \left( \frac{CD}{KMD + CD} + \frac{POB}{KOB + POB} \right),$$

- Температурные зависимости для скоростей роста зеленых (S0), сине-зеленых (S1), диатомовых (S2) водорослей, зоопланктона (S3) и бактериопланктона (S4)

$$Si(T) = \exp \left[ - \left( \frac{T - Si\_T}{Si\_D} \right)^2 \right], \quad i = \overline{0,4}, \quad (1.3)$$

- Функции, моделирующие зависимость роста сине-зеленых (L1) и диато-мовых (L2) водорослей от освещенности

$$L1(E) = \frac{cL1}{cL2 + cL3 \cdot \exp(cL4 \cdot E)},$$

$$L2(E) = \frac{E}{KE + E}, \quad (1.4)$$

- Функция насыщения концентрации растворенного кислорода

$$O20(T) = 14.61996 - 0.4042 \cdot T(t) + 0.00842 \cdot T^2(t) - 0.00009 \cdot T^3(t) \quad (1.5)$$

- Функция диффузии кислорода

$$K1 = cK1 \cdot \exp(T - cK2) \cdot \ln(cK3), \quad (1.6)$$

Функция освещенности

$$E = \max E \cdot \sin \left( \frac{t \cdot \pi}{366} \right) + 3. \quad (1.7)$$

- Функция изменения концентрации кремния

$$F_{si}(T) = \beta_1 \cdot \exp \left[ - \left( \frac{T - S2\_T}{S2\_D} \right)^2 \right] + \beta_2, \quad (1.8)$$

Для полученной модели поставлена задача Коши, которая решена методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Расчеты показали, что данная модель, позволяет выделить два (летний и осенний), так и один пик цветения фитопланктона, что соответствует экспериментальным данным.

Так же была решена обратная задача, когда неизвестен один из параметров правой части.

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + v(t, x) \frac{\partial \vec{u}}{\partial x} = k^2 \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial x^2} + \vec{F}(t, x, \vec{u}), \quad 0 \leq t \leq T, \quad 0 \leq x \leq X, \quad (2.1)$$

Рассмотрим следующую задачу: найти вектор-функцию  $\vec{U} = (CA0, CA1, CA2, CZ, CB, CD, PS, NS, POB, O2)$  и коэффициент Михаэлиса  $KP1(t)$ , удовлетворяющие задаче (3.1) и условию переопределения:

$$CA1(t, \xi) = \beta(t), \quad 0 \leq t \leq T,$$

где  $\beta(t)$  – заданная функция,  $\xi$  – фиксированная точка на отрезке  $[0, X]$ .

Задачу решаем численно. Для этого строим равномерную прямоугольную сетку и строим разностную схему аналогично прямой задаче. Для нахождения коэффициента Михаэлиса примем, что в точке  $\xi$  соответствует узел с индексом  $p$ . Тогда коэффициент Михаэлиса рассчитываем по формуле:

$$\begin{aligned}
 KP1^{n+1} = & (mA1max \cdot S1^n \cdot L1^n \cdot PS_p^n \cdot \beta^n / \\
 & /((\beta')^n + v_p^n \cdot \frac{CA1_{p+1}^n - CA1_{p-1}^n}{2h} - (k^2)^n \cdot \\
 & \cdot \frac{CA1_{p+1}^n - 2 \cdot CA1_p^n + CA1_{p-1}^n}{h^2} + RA1 \cdot \beta^n + \\
 & + MA1 \cdot \beta^n + \alpha_1 \cdot CA0_p^n \cdot \beta^n) - PS_p^n
 \end{aligned}$$

Расчеты велись при  $\xi = \frac{X}{2}$ .

УДК 517.9

## ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИЙ ИСТОЧНИКА ДЛЯ СИСТЕМЫ СОСТАВНОГО ТИПА

**В.Г. Копылова**

**Научный руководитель Ю.Я. Белов**

*Сибирский федеральный университет*

В работе решена задача идентификации функции источника одномерной параболо-эллиптической системы уравнений второго порядка.

Рассмотрена система уравнений, полученная из системы, в которой в эллиптическое уравнение добавлена производная по времени, содержащая малый параметр  $\varepsilon > 0$ .

В полосе  $G_{[0,T]} = \{(t, x) | 0 \leq t \leq T, x \in E_1\}$  рассматривается задача определения функций  $(u^\varepsilon(t, x), v^\varepsilon(t, x), g^\varepsilon(t))$ , удовлетворяющих системе уравнений

$$\begin{cases} u_t^\varepsilon(t, x) + a_{11}(t)u^\varepsilon(t, x) + a_{12}v^\varepsilon(t, x) = \mu_1 u_{xx}^\varepsilon(t, x) + g^\varepsilon(t)f(t, x), \\ \varepsilon v_t^\varepsilon(t, x) + a_{21}(t)u^\varepsilon(t, x) + a_{22}v^\varepsilon(t, x) = \mu_2 v_{xx}^\varepsilon(t, x) + F(t, x), \end{cases} \quad (1)$$

$\varepsilon - const, \varepsilon \in (0, 1]$ ,  
начальным условиям

$$u^\varepsilon(0, x) = u_0(x), \quad v^\varepsilon(0, x) = v_0(x), \quad (2)$$

и условию переопределения

$$u^\varepsilon(t, x^0) = \varphi(t), \quad \varphi \in C^2[0, T], \quad (3)$$

где  $\varphi(t)$  – заданная функция на  $[0, T]$ .

В (1) коэффициенты  $\alpha_{ij}(t)$ ,  $i = 1, 2$ ,  $j = 1, 2$ , заданы на отрезке  $[0, T]$ , функции  $f(t, x)$ ,  $F(t, x)$  заданы в  $G_{[0, T]}$ ,  $\mu_1, \mu_2 = \text{const} > 0$ .

Предположим выполнение следующих условий:

- условия согласования

$$u_0(x^0) = \varphi(0);$$

- функции  $\alpha_{ij}(t)$ ,  $i = 1, 2$ ,  $j = 1, 2$  непрерывно дифференцируемы на отрезке  $[0, T]$ :

$$\alpha_{ij}(t) \in C[0, T], \quad i = 1, 2, \quad j = 1, 2;$$

- матрица

$$A(t) = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) \end{pmatrix}$$

порождает симметрическую и коэрцитивную билинейную форму:  $a(t, \xi, \chi) = (A(t)\xi, \chi)$ :

$$a(t, \xi, \chi) = a(t, \chi, \xi), \quad \forall \xi, \chi \in E_2,$$

$$a(t, \xi, \xi) \geq \kappa |\xi|^2 \quad \forall \xi = (\xi_1, \xi_2) \in E_2, \quad t \in [0, T], \quad \kappa > 0 - \text{const}.$$

Относительно входных данных предполагаем, что они достаточно гладкие, имеют все непрерывные производные, входящие в следующие ниже соотношения и удовлетворяют им:

$$|a_{ij}(t)| \leq C, \quad i = 1, 2, \quad j = 1, 2,$$

$$\left| \frac{\partial^k}{\partial x^k} f(t, x) \right| + \left| \frac{\partial^k}{\partial x^k} F(t, x) \right| + \left| \frac{\partial^k}{\partial x^k} u_0(x) \right| + \left| \frac{\partial^k}{\partial x^k} v_0(x) \right| \leq C, \quad k = 0, \dots, p + 6,$$

$$|\varphi(t)| \leq C, \quad (t, x) \in G_{[0, T]}.$$

Предполагаем, что  $C$  – постоянная больше единицы, постоянная  $p \geq 6$  – четное число.

В предположении достаточной гладкости входных данных:

- доказано существование достаточно гладкого решения  $u^\varepsilon, v^\varepsilon, g^\varepsilon$  задачи (1)-(3) в  $G_{[0, T]}$  при любом  $\varepsilon > 0$ ;
- при условии периодичности и четности входных данных  $f, F, u_0, v_0$  по  $x$  доказано существование достаточно гладкого решения за-

дачи определения  $u^\varepsilon, v^\varepsilon, g^\varepsilon$  в  $\bar{Q}_T = [0, T] \times [0, l]$  при втором краевом условии

$$u_x^\varepsilon(t, 0) = v_x^\varepsilon(t, 0) = u_x^\varepsilon(t, l) = v_x^\varepsilon(t, l) = 0, \quad t \in [0, T].$$

УДК 512.5

## МАКСИМАЛЬНЫЕ КОММУТАТИВНЫЕ ПОДАЛГЕБРЫ В НЕКОТОРЫХ НИЛЬПОТЕНТНЫХ АЛГЕБРАХ ЛИ

**Е.А. Кравцова**

**Научный руководитель В.М. Левчук**

*Сибирский федеральный университет*

Пусть  $\Phi$  – некоторая система корней евклидова пространства,  $\Pi$  – её база,  $\Phi^+$  – положительная система корней,

$$p(\Phi) = \max\{(r, r)/(s, s) \mid r, s \in \Phi^+\}.$$

Алгебра Шевалле типа  $\Phi$  над полем  $K$  характеризуется базисом Шевалле  $\{e_r(r \in \Phi^+), h_s(s \in \Pi)\}$ . Её подалгебру с базисом  $\{e_r(r \in \Phi^+)\}$  будем обозначать  $N\Phi(K)$ .

Целью данного исследования является описание максимальных коммутативных идеалов и максимальных коммутативных подалгебр алгебры  $N\Phi(K)$ .

Для алгебры Ли  $L = N\Phi(K)$  стандартным называют центральный ряд

$$L = L_1 \supseteq L_2 \supseteq \dots \supseteq L_h = 0, \quad L_i = \langle K \cdot e_r \mid r \in \Phi^+, ht(r) \geq i \rangle,$$

где  $h$  – число Кокстера. Напомним, что нижним центральным рядом алгебры Ли  $L$  называют последовательность

$$L = \Gamma_1 \supseteq \Gamma_2 \supseteq \dots \supseteq \Gamma_n \supseteq \dots,$$

где  $\Gamma_{k+1} = [\Gamma_k, L]$  для всех  $k > 1$ , а верхним центральным рядом алгебры Ли  $L$  называют последовательность

$$E = Z_0 \subseteq Z_1 \subseteq \dots \subseteq Z_n \subseteq \dots,$$

где  $Z_1$  есть центр алгебры  $L$ , а  $Z_{k+1}$  есть центр алгебры  $L$  по модулю  $Z_k$  для всех  $k > 1$ .

**Теорема 1.** Если  $p(\Phi) \neq K$ , то верхний центральный ряд и нижний центральный ряд алгебры Ли  $L = N\Phi(K)$  совпадают со стандартным центральным рядом.

**Замечание.** Ограничение, наложенное на поле  $K$  в условиях теоремы, является существенным. Так, для типа  $G_2$  гиперцентральный ряд при  $3K = 0$  имеет вид:  $Z_0 = 0 \subseteq L_5 + Ke_{2a+b} \subseteq L_2 \subseteq L_1 = NG_2(K)$ , при  $2K = 0$ :  $Z_0 = 0 \subseteq L_5 \subseteq L_4 \subseteq L_2 \subseteq L_1 = NG_2(K)$ .

**Предложение 1.** Если  $\Phi \neq A_n$  и  $p(\Phi) \neq K$ , то в алгебре  $L = N\Phi(K)$  идеал  $L_{h/2}$  будет максимальным коммутативным.

При исследовании коммутативных подалгебр используется метод из статьи А. И. Мальцева («Коммутативные подалгебры полупростых алгебр Ли», 1945 г.) – сведение перечисления всех коммутативных подалгебр наибольшей размерности к перечислению наибольших коммутативных множеств корней в  $\Phi^+$ .

В ходе работы было получено полное описание максимальных коммутативных идеалов для типа  $G_2$ .

**Предложение 2.** При  $6K = K$  любой идеал в  $NG_2(K)$  инцидентен с каждым гиперцентром.

**Теорема 2.** Максимальный коммутативный идеал алгебры  $NG_2(K)$  при  $6K = K$  совпадает с  $L_3$ , при  $3K = 0$  совпадает с  $L_2$  или  $K(e_b + de_{b+3a}) + Ke_{b+a} + Z_1$ , при  $2K = 0$  совпадает с  $L_3$  или  $K(e_{b+a} + de_{b+2a}) + L_4$ .

Исследуется также следующая

**Гипотеза.** Максимальные коммутативные подалгебры алгебры  $N\Phi(K)$  могут быть получены автоморфизмами из  $\text{Aut}(N\Phi(K))$  и сопряжениями в алгебре Шевалле из максимальных коммутативных идеалов (возможны исключения).

УДК 519

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ К АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ ТЕМАТИЧЕСКОГО ПОИСКА В БОЛЬШИХ МАССИВАХ ДАННЫХ

**А.О. Лавренов**

**Научный руководитель Б.В. Олейников**

*Сибирский федеральный университет*

### **Актуальность задачи**

При работе с большим количеством данных остро встает проблема поиска и классификации информации. Во многих библиотечных и поисковых системах используется полнотекстовый поиск, поиск по автору, дате и т. п. Иногда этого бывает недостаточно, если мы, например, хотим видеть

документы в классифицированных категориях по кодам УДК и осуществлять поиск по ним.

Такое представление документов могут предоставить некоторые электронные каталоги в виде УДК-навигаторов. Информация, к какой категории принадлежит документ, уже заранее известна и определена человеком. Но как быть если имеется большой массив данных с неизвестными кодами УДК? Необходимо построить некоторый классификатор и решить задачу классификации данных. Далее мы рассмотрим задачу классификации по кодам УДК. Все изложенные материалы ниже можно применять для классификации по любым другим категориям, не ограничиваясь кодами УДК.

Так же в связи с ростом информационных потоков, обрабатываемых человеком и информационными системами, всё чаще обсуждаются вопросы, связанные с обработкой текста – его математическое представление, интерпретация и управление. Перед рассмотрением способов классификации определим, что есть анализ текста, и как его осуществить.

### **Математическое представление текста**

Текст в векторной модели рассматривается как множество слов – термов, имеющих некоторый вес.

Разными способами можно определить вес слова в документе. Например, можно посчитать частоту встречаемости слова в тексте. Чем чаще слово встречается, тем больше его «вес». Если терм не встречается в документе, то его вес равен нулю.

Все слова, которые встречаются в документах, т. е. весь словарь русского языка, можно упорядочить некоторым образом, например по алфавиту. Теперь для каждого документа можно выписать весь набор весов слов соответственно словарю. Если некоторого терма нет в документе, то его вес будет равен нулю. То есть вектор будет иметь вид:

$$d_i = (w_1, w_2, \dots, w_n),$$

где  $d_i$  – векторное представление  $j$ -го документа;  $w_i$  – вес  $i$ -го терма в документе;  $n$  – общее количество различных термов во всех документах коллекции, т. е. размер всего словаря.

Имея такое представление текста, мы можем применить различные математические операции над ним. Например, при нахождении «расстояния» между двумя векторами мы можем судить об их схожести. В данном случае за расстояние можно взять различные метрики – Евклидово расстояние, коэффициенты подобия и т. д.

## Методы взвешивания термов

Взвешивать термы в тексте можно различными способами, от которых зависит «качество» представления текста и может существенно повлиять на классификацию текста.

Для каждого термина в документе мы можем определить некоторые числовые показатели:

- 1) частота встречаемости термина в документе или «tf»;
- 2) частота встречаемости термина в других документах или «df». Например, если слово встречается в каждом четвертом документе коллекции, то  $df=1/4$ ;
- 3) длина слова;
- 4) показатель важности термина, с которыми используется данный терм. Например, если некоторое существительное в тексте используется с прилагательными, имеющими большой вес, можно также говорить об его важности.

Из этих числовых показателей можно получить функции веса термов:

- Булево значение веса.  $w = \text{sign}(tf)$ , т. е. 1 – если слово встретилось в документе, 0 – иначе;
- $w = tf$  - стандартная частота слова;
- $w = tf / df$ . Такой коэффициент часто называют «tf-idf», т. е. произведение частоты слова (tf), на величину, обратную величине частоты встречаемости слова во всех документах коллекции (inverse df). Часто применяется «сглаженная» вариация этой формулы –  $w = tf * \log_{10}(1 / df)$ .

При употреблении формул tf-idf решается проблема общеупотребительных слов – когда слова, не несущие смысловой нагрузки, имеют большой вес. Например, для художественной литературы такими словами могут быть: говорить, думать, человек и т. д.

- другие функции из суперпозиций показателей слова.

## Уменьшение размерности общего словаря

Так как размер всего словаря очень велик – векторное представление документа будет состоять в основном из нулевых значений. Чтобы упростить работу по обработке данных следует по возможности сократить множество словаря. Можно воспользоваться следующими методами:

- удаление вспомогательных частей речи: предлоги, союзы, местоимения;
- удаление слов, которые встречаются слишком редко относительно всех документов. Например, в 100000 документов слово встретилось только 1-2 раза;

- объединение слов в словосочетание. Можно использовать, если несколько слов встречаются вместе чаще, чем по отдельности.

### **Создание обучающей выборки**

Прежде чем приступить к этапу классификации документа необходимо составить большую базу документов с известными классами классификации. Её можно использовать как для машинного обучения, так и для сбора различных статистических данных.

Обычно код УДК указывают в начале книги, поэтому проблема нахождения документов была решена двумя способами:

1. Для документов, которые уже представлены в сети Интернет в виде полного текста можно найти по запросу вида «УДК 517». Если данный запрос мы укажем в кавычках, то поисковые системы будут искать точное соответствие. Из всего найденного содержимого можно выделить файлы, которые, например, имеют расширение \*.pdf. Далее из имеющегося pdf файла можно получить текст документа. Но количество таких книг в открытых источниках не велико, и часто это оказываются лишь справочники со ссылками, поэтому также лучше применить второй способ.

2. Для документов, которые не имеют полнотекстового представления, например отсканированные копии книг, можно сделать следующее: пользуясь любым УДК-навигатором электронных каталогов университетов можно получить список книг – их автора и название, соответствующих некоторому коду УДК. Зная название книги, можно попытаться найти копию книги в открытых источниках Интернета. Если такая книга найдена, её необходимо обработать любой OCR системой – системой распознавания символов. В результате можно получить «черновой» текст книги, без рисунков, формул и возможно с некоторыми неточностями определения текста. Такая копия текста книги не пригодна для прямого использования и изучения, но полезна для составления обучающей выборки, так как позволяет получить общую тенденцию употребления слов.

### **Анализ обучающей выборки, проверка гипотезы схожести документов**

Прежде чем приступить к классификации документов необходимо проанализировать обучающую выборку и проверить гипотезы схожести текстов.

Если два текста принадлежат одной классификационной категории, мы утверждаем что они похожие. Так же мы предполагаем, что векторы, представляющие тексты, будут «близки», в смысле некоторой метрики. Основной вопрос: не окажется ли так, что по набору слов текстов нельзя судить об их схожести?

Для проверки гипотезы проведём следующий эксперимент. В качестве «расстояния» возьмём угол между двумя векторами. В данном случае считаем, что тексты тем похожей, чем меньше угол между их векторами. Для измерения угла будем использовать значение косинуса:

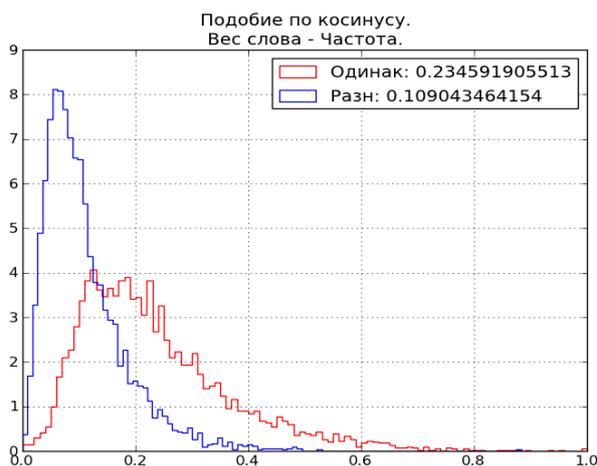
$$\cos(a) = \frac{\sum(w_i * q_i)}{\left(\sqrt{\sum(w_i^2)} * \sqrt{\sum(q_i^2)}\right)}$$

где  $a$  - угол между векторами  $\vec{w}$  и  $\vec{q}$ ;  $w_i$  - значение  $i$ -того элемента вектора;  $q_i$  - значение  $i$ -того элемента вектора.

Значение косинуса назовём «коэффициентом подобия». Получаем, чем ближе к единице коэффициент подобия, тем документы похожей. То есть гипотеза сводится к следующей: будет ли у двух случайных документов из одной категории значение коэффициента подобия больше, чем у двух документов из заведомо разных категорий?

Возьмём два документа из одной категории, посчитаем значение косинуса. Будем считать, что значение косинуса – некоторая случайная величина. Для большого набора случайных документов мы получим некоторую выборку из распределения значения косинуса. Так же нужно получить выборку для значения косинуса между векторами документов из разных категорий.

По двум выборкам можно построить гистограмму и посчитать некоторые статистические данные. Результат показан на рисунке



Выборка для документов с одинаковыми кодами УДК.  
Выборочное среднее: 0.234591905513  
Выборочная дисперсия: 0.018290763754

Выборка для документов с разными кодами УДК.  
Выборочное среднее: 0.109043464154  
Выборочная дисперсия: 0.00548606929596

По этим данным можно сказать, что действительно, для векторов документов из одного классификационного класса в **среднем значение косинуса больше**, чем векторов документов из разных классов, т. е. они являются «более похожими». Можно считать, что гипотеза верна.

## Классификация документов

Будем считать что документ классифицирован правильно, если все три основных знака кода определены правильно.

Для классификации документов воспользуемся двумя алгоритмами классификации: «наивный баесовский алгоритм» и «алгоритм k-ближайших соседей». Возьмём тестовую выборку в размере 100 документов, которая в обязательном порядке не входит в состав обучающей выборки. Точность классификатора определяется следующим образом  $t = V_r / V_{all}$ , где  $V_r$  - количество правильно классифицированных документов,  $V_{all}$  - количество всех документов в тестовой выборке.

Для наивного баесовского классификатора нам понадобятся некоторые «особенности» текста, возьмём 20 самых важных, т. е. имеющих наибольший вес, термов. Число 20 получено экспериментальным путём, точность классификации при выборе только 20 слов максимальна.

Для алгоритма k-ближайших соседей необходимо выбрать число k. Так же экспериментально получено, что при k=6, точность максимальна.

Результаты классификации представлены в таблице

Название алгоритма	Параметры классификации	Точность
Наивный баесовский алгоритм	<ul style="list-style-type: none"><li>• размер обучающей выборки: ~ 12 000 документов;</li><li>• размер тестовой выборки: ~ 100 документов;</li><li>• количество «особенностей» текста: 20</li></ul>	0.323232323232
Алгоритм k-ближайших соседей	<ul style="list-style-type: none"><li>• размер обучающей выборки: ~ 12 000 документов;</li><li>• размер тестовой выборки: ~ 100 документов;</li><li>• количество соседей текста: 6</li></ul>	0.30303030303

## Результаты

Точность классификации ~30 % является низкой, но проблема классификации по кодам УДК в том, что количество кодов, по которым можно классифицировать текст, очень велико. На данный момент используется примерно 450 основных кодов УДК. Решение данной проблемы – существенное увеличение тестовой выборки.

Так же можно классифицировать не по всем трём значениям кода, а, например, только по одному. При этом точность будет значительно выше. Но в данном случае мы определим лишь общую тему документа.

## ОБ ОДНОНАПРАВЛЕННОМ ДВИЖЕНИИ ТРЁХ ВЯЗКИХ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНЫХ СИЛ

Е.Н. Лемешкова

Научный руководитель В.К. Андреев

*Сибирский федеральный университет*

При рассмотрении однонаправленного движения трёх несмешивающихся несжимаемых вязких теплопроводных жидкостей в плоских слоях  $-l_1 < y < 0$ ,  $0 < y < l_2$ ,  $l_2 < y < l_3$  с общими границами раздела  $y = 0$ ,  $y = l_2$  и твёрдыми стенками  $y = -l_1$ ,  $y = l_3$  возникает следующая начально-краевая задача для системы параболических уравнений:

$$u_{jt} = \nu_j u_{jyy}, \quad (1)$$

$$T_{jt} = \chi_j T_{jyy} + A_j u_j, \quad (2)$$

$$u_j(y, 0) = 0, \quad T_j(y, 0) = 0, \quad (3)$$

$$u_1(0, t) = u_2(0, t), \quad u_2(l_2, t) = u_3(l_2, t), \quad (4)$$

$$T_1(0, t) = T_2(0, t), \quad T_2(l_2, t) = T_3(l_2, t), \quad (5)$$

$$\mu_2 u_{2y}(0, t) - \mu_1 u_{1y}(0, t) = -A \alpha_1, \quad \mu_3 u_{3y}(l_2, t) - \mu_2 u_{2y}(l_2, t) = -A \alpha_2, \quad (6)$$

$$k_1 T_{1y}(0, t) = k_2 T_{2y}(0, t), \quad k_2 T_{2y}(l_2, t) = k_3 T_{3y}(l_2, t), \quad (7)$$

$$u_1(-l_1, t) = 0, \quad u_3(l_3, t) = 0, \quad (8)$$

$$T_1(-l_1, t) = 0, \quad T_3(l_3, t) = 0, \quad (9)$$

где  $u_j, T_j$  – возмущения скорости и температуры,  $\nu_j$  – кинематическая вязкость,  $\mu_j$  – динамическая вязкость,  $\chi_j$  – теплопроводность,  $k_j$  – коэффициент теплопроводности,  $\alpha_j$  – температурный коэффициент поверхностного натяжения (предполагается, что коэффициенты поверхностного натяжения линейно зависят от температуры:  $\sigma_j = \sigma_j^0 - \alpha_j \theta_j$ ,  $\theta_j = -A_j x + T_j(y, t)$  – температура),  $j = 1, 2, 3$ . В уравнении (2) и граничном условии (6)  $A \equiv A_1 = A_2 = A_3$  (это следствие равенства температур, см.(5)). Касательные напряжения на границах раздела (6) при  $t = 0$  терпят разрыв и это является спецификой задачи (1) – (9).

Видно, что уравнения (1) – (9) образуют две последовательно решаемые задачи для скоростей  $u_j$  и возмущений температур  $T_j$ .

Поставленная задача (1), (2), (4) – (9) имеет стационарное решение

$$\begin{aligned}
u_1^0(\xi) &= \frac{v_1}{l_1} a_1(\xi + 1); u_2^0(\xi) = \frac{v_1}{l_1} (a_2\xi + a_1); u_3^0(\xi) = \frac{v_1 a_3}{l_1} \left( \xi - \frac{1}{l_1} \right); \\
T_1^0(\xi) &= \frac{Al_1 v_1}{\chi_1} \left[ -\frac{a_1}{6} (\xi^3 + 3\xi^2 - 2) + \frac{b_2}{\delta_2} (\xi + 1) \right]; \\
T_2^0(\xi) &= \frac{Al_1 v_1}{\chi_1} \left[ -\frac{\bar{\chi}_1}{6} (a_2 \xi^3 + 3a_1 \xi^2) + \frac{b_2}{\delta_2} (\bar{k}_1 \xi + 1) + \frac{a_1}{3} \right]; \quad (10) \\
T_3^0(\xi) &= \frac{Al_1 v_1}{\chi_1} \left[ -\frac{\bar{\chi}_2 a_3}{6} + \left( \frac{\bar{k}_1 \bar{k}_2 b_2}{\delta_2} + \frac{\bar{l}_2}{l_1} \left( \frac{\bar{\chi}_2 a_3}{l_1} \left( \frac{\bar{l}_2}{2} - 1 \right) - \bar{\chi}_1 \bar{k}_2 \left( a_1 + \frac{\bar{l}_2 a_2}{2l_1} \right) \right) \right) \xi \frac{\bar{k}_1 \bar{k}_2 b_2}{\delta_2 \bar{l}_1} \right. \\
&\quad \left. - \frac{1}{\bar{l}_1^2} \left( \frac{\bar{\chi}_2 \bar{l}_2 a_3}{l_1} \left( \frac{\bar{l}_2}{2} - 1 \right) - \bar{\chi}_1 \bar{k}_2 \bar{l}_2 \left( a_1 + \frac{\bar{l}_2 a_2}{2l_1} \right) + \frac{\bar{\chi}_2 a_3}{3l_1} \right) \right]; \\
M_1 &= \frac{A \bar{\alpha}_1 l_1^2}{v_1 \mu_2}, M_2 = \frac{A \bar{\alpha}_2 l_1^2}{v_1 \mu_2}, \delta_1 = \bar{\mu}_1 \bar{\mu}_2 (\bar{l}_2 - 1) - \bar{\mu}_1 \bar{l}_2 - \bar{l}_1,
\end{aligned}$$

$$a_1 = \frac{1}{\delta_1} [(\bar{l}_2 + \bar{\mu}_2 - \bar{\mu}_2 \bar{l}_2) M_1 + (1 - \bar{l}_2) \bar{\mu}_2 M_2], a_2 = -\frac{1}{\delta_1} [\bar{l}_1 M_1 + \bar{\mu}_1 \bar{\mu}_2 (\bar{l}_2 - 1) M_2],$$

$$a_3 = -\frac{\bar{\mu}_2}{\delta_1} [\bar{l}_1 M_1 + (\bar{l}_1 + \bar{\mu}_1 \bar{l}_2) M_2],$$

где  $\xi = y/l_1, \bar{l}_1 = l_1/l_3, \bar{l}_2 = l_2/l_3, \bar{\mu}_1 = \mu_1/\mu_2, \bar{\mu}_2 = \mu_2/\mu_3, \bar{k}_1 = k_1/k_2, \bar{k}_2 = k_2/k_3, \bar{\chi}_1 = \chi_1/\chi_2, \bar{\chi}_2 = \chi_1/\chi_3, M_1, M_2$  – числа Марангони. Решение (10)

описывает термокапиллярное течение Куэтта в слоях.

Нестационарное решение задачи (1) – (9) можно получить, применяя преобразование Лапласа. Тогда уравнения (1), (2) примут

$$p \widehat{U}_j(y, p) = v_j \widehat{U}_{jyy}(y, p), p \widehat{T}_j(y, p) = \chi_j \widehat{T}_{jyy}(y, p) + A \widehat{U}_j. \quad (11)$$

К (11) добавляются преобразованные условия (4) – (9) с заменой  $u_j(y, t)$  на  $\widehat{U}_j(y, p)$  и  $T_j(y, t)$  на  $\widehat{T}_j(y, p)$ .

Общее решение первого уравнения (11),  $j = 1, 2, 3$ , имеет вид

$$\widehat{U}_j = C_j^1 sh \sqrt{\frac{p}{v_j}} y + C_j^2 ch \sqrt{\frac{p}{v_j}} y, \quad (12)$$

второго

$$\widehat{T}_j(y, p) = \widehat{C}_j^1 sh \sqrt{\frac{p}{\chi_j}} y + \widehat{C}_j^2 ch \sqrt{\frac{p}{\chi_j}} y + \widehat{T}_{jr}, \quad (13)$$

где  $\widehat{T}_{jr} = \frac{A}{\sqrt{p\chi_j}} \int_{\Omega_j} U(z, p) \operatorname{sh} \sqrt{\frac{p}{\chi_j}} (z - y) dz$  – частное решение уравнения.

Постоянные  $C_j^1, C_j^2, \widehat{C}_j^1, \widehat{C}_j^2$  нетрудно вычислить, используя граничные условия. Также, проводя достаточно длинные выкладки, можно доказать предельные равенства  $\lim_{p \rightarrow 0} p \widehat{T}_j(y, p) = T_j^0$  и  $\lim_{p \rightarrow 0} p \widehat{U}_j(y, p) = u_j^0$  и получить экспоненциальную оценку скорости сходимости с показателем, зависящим от физических свойств сред и толщин слоёв для скоростей

$$\begin{aligned} |w_1(y, t)| &\leq (2\sqrt{D_1})^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{\delta t}{2}}, |w_3(y, t)| \leq \\ &\leq (2\sqrt{D_2})^{1/2} e^{-\delta t/2}, |w_3(y, t)| \leq (2D_3)^{1/2} e^{-\delta t/2}, \end{aligned}$$

и возмущений температур

$$|N_1(y, t)| \leq \left( 2 \sqrt{\frac{2E_1(t)\delta_1}{\rho_1 k_1 c_{01}}} \right)^{1/2}, |N_3(y, t)| \leq \left( 2 \sqrt{\frac{2E_1(t)\delta_1}{\rho_3 k_3 c_{03}}} \right)^{1/2},$$

$$|N_2(y, t)| \leq \left( 2\sqrt{2E_1(t)\delta_1} \left( (\rho_1 k_1 c_{01})^{-1/2} + (\rho_2 k_2 c_{02})^{-1/2} \right) \right)^{1/2},$$

$$E_1(t) = \frac{1}{2} \rho_1 c_{01} \int_{-l_1}^0 N_1^2(y, t) dy + \frac{1}{2} \rho_2 c_{02} \int_0^{l_2} N_2^2(y, t) dy + \frac{1}{2} \rho_3 c_{03} \int_{l_2}^{l_3} N_3^2(y, t) dy,$$

где  $w_j(y, t) = u_j^0(y) - u_j(y, t)$ ,  $N_j(y, t) = T_j^0(y) - T_j(y, t)$ ,  $\delta, \delta_1, D_1, D_2, D_3$  – положительные постоянные, зависящие от геометрических и физических свойств сред,  $c_{0j}$  – коэффициент удельной теплоемкости.

УДК 511.512

## ДИОФАНТОВЫ УРАВНЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩИЕ ОБОБЩЕННЫЕ КВАТЕРНИОНЫ С НОРМОЙ 1

А.В. Литаврин

Научный руководитель В.М. Левчук

*Сибирский федеральный университет*

Работа посвящается изучению диофантовых уравнений, описывающих обобщенные кватернионы с нормой 1. Основной результат работы сформулирован в виде теоремы 1. Пусть  $p$  – простое число и  $Z[1/p]$  – рас-

ширение в  $\mathbb{Q}$  кольца  $Z$  целых чисел с помощью элемента  $1/p$ . В [1] приводится матричное представление алгебры обобщенных кватернионов  $H(n,m)$  над полем  $\mathbb{Q}$  рациональных чисел, где  $n,m$  — целые числа. В мультипликативной группе обратимых элементов алгебры  $H(n,m)$  выделим подгруппу  $G(n,m,p)$  матриц над  $Z[1/p]$  с определителем 1.

В связи с конгруэнц – проблемой Й. Меннике – И. Ихара для линейной группы  $G(n,m,p)$  ([2, вопрос 5.33]) возникает интерес к решению диофантова уравнения от четырех неизвестных

$$x^2 - ny^2 - mz^2 + ntu^2 = 1 \quad (1)$$

в кольце  $Z[1/p]$ . Решение уравнения (1) можно свести к решению диофантова уравнения

$$x^2 - Ay^2 - Bz^2 + ABu^2 = K \quad (A, B, C, K \in Z, \sqrt{A} - \text{иррационально}, A > 0) \quad (2)$$

в кольце  $Z$ . Для решения уравнения (2) нам потребуется рассмотреть обобщенное уравнение Пелля:

$$x^2 - ny^2 = c, \quad (3)$$

где  $n$  – натуральное число, не являющееся квадратом;  $c$  – целое число.

Уравнение (3) достаточно изучено. Все необходимые свойства уравнения (3) мы сформулируем в виде леммы 1. Если  $a$  – наименьшее натуральное число, для которого существует натуральное число  $b$  такое, что  $a^2 - nb^2 = 1$ , то число  $q = a + \sqrt{nb}$  называется основной единицей числа  $n$ . Положим, что

$$M_{n,c} := \{x + \sqrt{ny} \in Z + \sqrt{n}Z \mid x^2 - ny^2 = c, 1 < x + \sqrt{ny} \leq q\},$$

и сформулируем лемму 1.

**Лемма 1.** Пусть  $n$  – натуральное число, не являющееся квадратом,  $c$  – целое число, не равное нулю. Тогда верны следующие утверждения.

1. Множество  $M_{n,c}$  – конечно.
2. Уравнение  $x^2 - ny^2 = c$  разрешимо в целых числах тогда и только тогда, когда  $M_{n,c}$  – не пустое множество.
3. Всякое решение уравнения  $x^2 - ny^2 = c$  в целых числах можно записать в виде  $x + \sqrt{ny} = \pm wq^s$ , где  $w$  из  $M_{n,c}$ ,  $q$  – основная единица числа  $n$  и  $s$  – некоторое целое число.

**Теорема 1.** Пусть  $A, B, K$  – параметры, введенные выше,  $q$  – основная единица числа  $A$ ,  $S$  – множество решений уравнения (2),  $M_{n,c}$  – множества, введенные выше и

$$D := \{(x + \sqrt{ny}, z + \sqrt{nu}) \mid (x, y, z, u) \in S\}, \quad F_1 := \{x^2 - ny^2 \mid x, y \in Z\}$$

$$F_2 := \left\{ \frac{x^2 - Ay^2 - K}{B} \mid x, y \in Z, B \mid (x^2 - Ay^2 - K) \right\}.$$

Тогда для любого  $(x + \sqrt{n}y, z + \sqrt{n}u) \in D$  существует  $t \in F_1 \cap F_2$  такое, что при любых  $s, k \in Z$  и при любых  $w_1 \in M_{A,1+Bt}, w_2 \in M_{A,t}$  имеют место равенства:

$$x + \sqrt{n}y = q^s w_1, \quad z + \sqrt{n}u = q^k w_2.$$

### Список литературы

- [1] Ван дер Варден, Б.Л. Алгебра / Б.Л. Ван дер Варден. – М.: Наука, 1979.  
 [2] Коуровская тетрадь (Нерешенные вопросы теории групп) / под ред. В.Д. Мазурова, Е.И. Хухро; 5 изд. – Новосибирск: ИМ СО РАН, 1976.

УДК 512.5

## ОРБИТЫ ФИГУР ЕВКЛИДОВА ПРОСТРАНСТВА ПРИ ДЕЙСТВИИ КОНЕЧНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ГРУПП

А.Н. Михайлов

Научный руководитель А.В. Тимофеев

*Сибирский федеральный университет*

Для создания интегрированной программной среды систем GAP и Maple, позволяющей строить орбиты ломаных линий при действии конечных представлений кристаллографических групп, потребовались следующее предложение и его аналоги для больших размерностей.

**Предложение 1.** Если  $S_n$  – кристаллографическая группа размерности 2 и с номером  $n$  в кристаллографической таблице;  $T$  – ее подгруппа параллельных переносов и точечная группа  $P$  изоморфна фактор-группе  $S_n/T$ , то  $S_n \cong P \ltimes T$  только для  $n = 4, 5, 7, 8, 12$ , а для других  $n$  действие порождающих элементов группы  $P = \langle p, r, q \rangle$  на порождающие  $x, y$  группы  $T$  показывает (табл. 1)

Доказательство.

Определяющие соотношения табл. 1 получены с помощью системы GAP и последующей ручной обработки. Например, генетический код группы  $S_{14} = \langle x, y, p, r \mid [x, y], p^3, r^2, p^r p^{-2}, x^r y, x^p u x, y^r x, y^p x^{-1} \rangle$  возник из линейного представления группы  $S_{14}$  в системе GAP, для которого по алгоритму Тодда-Коксетера эта система выдала следующие определяющие соотношения:  $x u x^{-1} y^{-1}, r^2, p^3, p^{-1} r^{-1} p r p^{-1}, x^{-1} r^{-1} x r u x, x^{-1} p^{-1} x r u x^2, y^{-1} r^{-1} y u x, y^{-1} p^{-1} y u r x^{-1}$ .

**Таблица 1.** Определяющих соотношений группы  $S_n$  (без  $[x,y] = 1$ )

$n$	Соотношения группы $P$	Действие $P$ на $T$
2	$p^2$	$x^p x, y^p y$
3	$p^2$	$x^p x, y^p y^{-1}$
6	$[p, r], p^2, r^2$	$[x, p], x^r x, y^r y, y^p y$
9	$p^2, r^2, [p, r]$	$x^p y^{-1}, x^r x, y^r y, y^p x^{-1}$
10	$p^2 r^{-1}, r^2, [p, r]$	$x^p y, x^r x, y^r y, y^p x^{-1}$
11	$p^2, r^2 q^{-1}, q^2, [p, q],$ $[r, q], r^p r^{-1} q^{-1}$	$[x, p], x^r y, x^q x, y^r x^{-1}, y^p y, y^q y$
13	$p^3$	$x^p y x, y^p x^{-1}$
14	$p^3, r^2, p^r p^{-2}$	$x^r y, x^p y x, y^r x, y^p x^{-1}$
15	$p^3, r^2, p^r p^{-2}$	$x^r y^{-1}, x^p y x, y^r x^{-1}, y^p x^{-1}$
16	$p^3, r^2, [p, r]$	$x^r x, x^p y x, y^r y, y^p x^{-1}$
17	$p^3, r^2, q^2, [r, q], [p, r], p^q p^{-2}$	$x^q y^{-1}, x^r x, x^p y x, y^q x^{-1}, y^r y, y^p x^{-1}$

Докажем, что  $S_n \cong P \ltimes T$  для  $n = 2, 3, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17$ .

Теперь каждую группу  $S_n$  рассматриваем как абстрактную группу, заданную генетическим кодом, т.е. изоморфный образ группы  $S_n$  сохраняет ее обозначение.

Представим группу  $S_n$  в виде произведения групп  $S_n = PT$ , где  $P \simeq S_n/T$ ,  $T = \langle x, y \mid [x, y] = 1 \rangle$ . Действительно, система порождающих группы  $S_n$  состоит из порождающих ее подгрупп  $T$  и  $P$  элементов. Например,  $S_{17} = \langle x, y, p, r, q \rangle$ , причем  $T = \langle x, y \rangle$ ,  $P = \langle p, r, q \rangle$ . Следовательно  $S_n = TP$ , что и требовалось доказать.

Докажем, что  $T$  — нормальная подгруппа  $S$ , т.е.  $T \triangleleft S_n$ . Для этого нам надо показать, что  $T^{S_n} \subseteq T$ , т.е.  $g^{-1} T g = T$ , для любого  $g \in S_n$ . Из табл. 1 видно, что, сопрягая элементами группы  $S_n$  элементы подгруппы  $T$ , получаем элемент подгруппы  $T$ , т.е. для каждого  $g \in S_n$  и каждого  $t \in T$  найдётся такой  $t_2 \in T$ , что  $t_1^g = t_2$ . Например, действие  $P$  на  $T$  для группы  $S_{14}$ :  $x^r = y^{-1}$ ,  $x^p = x^{-1} y^{-1}$ ,  $y^r = x^{-1}$ ,  $y^p = x$ , где  $x, y \in T$ ,  $p, r \in P$ . Из этих соотношений видно, сопрягая элемент подгруппы  $T$  элементом из  $P$ , получаем элементы этой группы. Таким же образом, рассматривая определяющие соотношения остальных групп из табл. 1, увидим, что в любой группе  $S_n$ , сопрягая элемент группы  $T$  элементом из  $P$ , останемся в группе  $T$ , т.е.  $g^{-1} T g = T$ , следовательно  $T \triangleleft S_n, n = 2, 3, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17$ .

Докажем, что  $T \cap P = 1$  для групп из табл.1. Пусть  $Z$  — кольцо целых чисел. Из табл. 1 видно, что для этих групп нет соотношений вида  $p^k = t, t^k = p, t^g = p, p^g = t, t \in T, p \in P, k \in Z, g \in S_n$ , т.е. не существует такого элемента  $g \in S$ , что  $g \in P$  и  $g \in T$ , кроме единицы. Из этого следует, что  $T \cap P = 1$  для групп  $S_n, n = 2, 3, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17$ . Следовательно группы  $S_n, n = 2, 3, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17$  являются полупрямым произведением  $T$  и  $P$ , т.е.  $S_n \cong P \ltimes T$  по определению, так как  $S_n = PT$ , где  $P \simeq S_n/T, T \triangleleft S_n, T \cap P = 1$ .

Теперь докажем, что  $S_n \cong P \ltimes T$  только для  $n = 4, 5, 7, 8, 12$ . Посмотрим на таблицу определяющих соотношений группы  $S_n$ ,  $n = 4, 5, 7, 8, 12$ .

**Таблица 2.** Определяющих соотношений группы  $S_n$ ,  $n = 4, 5, 7, 8, 12$  (без  $[x, y] = 1$ )

$n$	Определяющие соотношения группы $S_n$ (без $[x, y] = 1$ )
4	$p^2y^{-1}, x^px$
5	$p^2, x^py^{-1}, y^px^{-1}$
7	$p^2, r^2, [x, p], r^pr^{-1}y, x^rx, y^ry, y^py$
8	$r^2, p^2x^{-1}, [x, p], x^rx, r^pyx^{-1}r^{-1}, y^ry, y^py$
12	$q^2, r^2q^{-1}, [r, q], p^2x^{-1}, r^pxq^{-1}r^{-1}, q^pxy^{-1}q^{-1}, [x, p], x^ry, x^qx, y^rx^{-1}, y^py, y^qy$

Из табл. 2 видно, что в группах  $S_n$ ,  $n = 4, 5, 7, 8, 12$  есть определяющие соотношения вида  $p^k = t$ , где  $p \in P, t \in T, k \in \mathbb{Z}$ , т. е. существует такой элемент  $g \in S$ , что  $g \in T$  и  $g \in P$ . Из этого следует, что в группе  $P$  есть элементы из группы  $T$ , т.е.  $T \cap P = g$ , где  $P \simeq S_n/t$ ,  $g \in S_n$  для  $n = 4, 5, 7, 8, 12$ . Отсюда следует, что  $S_n \cong P \ltimes T$  только для  $n = 4, 5, 7, 8, 12$ .

Доказано.

Применены конечные представления  $P \ltimes \mathbb{Z}_m^d$ ,  $m = 1, 2, \dots$ , аппроксимирующие группу  $S_n$ .

УДК 519.248:[33+301+159.9]

## НЕЧЕТКИЕ МНОЖЕСТВА КАК ПРОЕКЦИИ СЛУЧАЙНЫХ. ЭВЕНТОЛОГИЧЕСКИЙ ВЗГЛЯД

**Я.В. Нартов**

**Научный руководитель Д.В. Семёнова**

*Сибирский федеральный университет*

В работах по нечетким множествам время от времени утверждается, что теория нечеткости является самостоятельным разделом прикладной математики и не имеет отношения к теории вероятностей. Некоторые авторы, обсуждавшие взаимоотношения теории нечеткости и теории вероятностей, подчеркивали различие между этими областями теоретических и прикладных исследований. Как оказалось теория нечетких множеств тесно связана с теорией случайных множеств. В работах И. Гудмэна было показано, что нечеткие множества естественно рассматривать как «проекции» случайных множеств. Рассмотрим этот метод сведения теории нечетких

множеств к теории случайных множеств в эвентологической интерпретации.

Пусть  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  – вероятностное пространство.

Случайное множество событий под конечным множеством  $\mathfrak{X} \subseteq F$  определяется как случайный элемент

$$K : (\Omega, \mathcal{F}, P) \rightarrow (2^{\mathfrak{X}}, 2^{2^{\mathfrak{X}}}).$$

Со значениями в измеримом пространстве  $(2^{\mathfrak{X}}, 2^{2^{\mathfrak{X}}})$ , где  $2^{\mathfrak{X}}$  – множество всех подмножеств  $\mathfrak{X}$ ,  $2^{2^{\mathfrak{X}}}$  – алгебра всех его подмножеств.

Вместе со случайным множеством событий  $K$  под  $\mathfrak{X}$  определено и его теоретико-множественное дополнение  $K^c = \mathfrak{X} - K$  – случайное множество событий под  $\mathfrak{X}^{(c)} = \{x^c \mid x \in \mathfrak{X}\}$ .

Распределение случайного множества  $K$  можно определить эквивалентным образом, задав на множестве  $2^{\mathfrak{X}}$  всех подмножеств конечного множества  $\mathfrak{X}$  одну из следующих функций множеств, где  $X \in 2^{\mathfrak{X}}$ , т.е.  $X \subseteq \mathfrak{X}$ :

$$p(X) = \mathbf{P}(K = X) = \mathbf{P}\left(\bigcap_{x \in X} x \bigcap_{x \in X^c} x^c\right)$$

– распределение вероятностей значений,

$$p_X = \mathbf{P}(X \subseteq K) = \mathbf{P}\left(\bigcap_{x \in X} x\right) \quad (1)$$

– распределение вероятностей покрытий, которые попарно связаны взаимно-обратимыми формулами обращения Мебиуса:

$$p_X = \sum_{X \subseteq Y} p(Y), \quad (2)$$

$$p(X) = \sum_{X \subseteq Y} (-1)^{|Y|-|X|} p_Y, \quad (3)$$

где  $X \in 2^{\mathfrak{X}}$ .

Пусть задано случайное множество  $K$  под множеством  $\mathfrak{X}$ , т.е. задано вероятностное распределение  $K$ . Итак, пусть  $F$  – нечеткое множество, определенное на  $\mathfrak{X}$ , с функцией принадлежности  $Z : \mathfrak{X} \rightarrow [0, 1]$ .

Согласно [1] нечеткое множество  $F$  называется проекцией  $K$  и обозначается  $Proj(K)$ , если

$$Z(x) = \mathbf{P}(x \in K), \quad \forall x \in \mathfrak{X}. \quad (4)$$

Заметим, что согласно (1) вероятности в (4) есть не что иное, как вероятность покрытия на моноплете событий

$$P(x \in K) = \mathbf{P}(\{x\} \subseteq K) = p_x,$$

т.е. вероятность события  $x \in \mathfrak{X}$ .

Таким образом, зная вероятностное распределение случайного множества  $K$ , ему можно поставить в соответствие нечеткое множество  $F$ .

И. Гудмэн предложил способ построения случайного множества по известному нечеткому.

Пусть задано нечеткое множество  $F$  в  $\mathfrak{X}$  с функцией принадлежности  $Z: \mathfrak{X} \rightarrow [0,1]$ . И пусть носитель нечеткого множества

$$\text{supp}(F) = \{x \mid Z(x) > 0, x \in \mathfrak{X}\} = \{x_1, \dots, x_m\},$$

$m \leq |\mathfrak{X}|$ . Без ограничения общности можно считать, что при некотором  $m$  элементы  $\text{supp}(F)$  занумерованы в таком порядке, что

$$0 < Z(x_1) \leq Z(x_2) \leq \dots \leq Z(x_m) \leq 1.$$

Рассмотрим множества  $F_i = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_m\}$ ,  $i = \overline{1, m}$  и положим

$$\begin{aligned} \mathbf{P}(K = F_1) &= p(F_1) = Z(x_1); \\ \mathbf{P}(K = F_2) &= p(F_2) = Z(x_2) - Z(x_1); \\ &\dots\dots\dots \\ \mathbf{P}(K = F_i) &= p(F_i) = Z(x_i) - Z(x_{i-1}); \\ &\dots\dots\dots \\ \mathbf{P}(K = F_m) &= p(F_m) = Z(x_m) - Z(x_{m-1}); \\ \mathbf{P}(K = \emptyset) &= p(\emptyset) = 1 - Z(x_m). \end{aligned} \tag{5}$$

Для всех остальных подмножеств  $X$  множества  $\mathfrak{X}$  положим  $p(X) = 0$ . Из (2), (3) и системы (5) следует справедливость (4), т.е.  $p_{x_i} = Z(x_i)$ .

Таким образом, фиксация проекции случайного множества (задание нечеткого множества) эквивалентна фиксации  $|\mathfrak{X}|$  параметров из  $2^{|\mathfrak{X}|}$  параметров, задающих распределение вероятностей покрытия случайного множества  $K$  в общем случае. Следовательно, одному нечеткому множеству  $F$  в  $\mathfrak{X}$  с функцией принадлежности  $Z(x)$  можно поставить целый класс случайных множеств  $K$ , заданных распределениями вероятностей покрытия с фиксированными вероятностями для событий-моноплетов

$\mathbf{p}_{\mathfrak{X}} = \{p_x, X \subseteq \mathfrak{X} \mid p_x = Z(x), x \in \mathfrak{X}\}$ . Из этого класса распределений следует независимо-точечные распределения:

$$p(X) = \prod_{x \in X} p_x \prod_{x \in X^c} (1 - p_x), \quad X \in 2^{\mathfrak{X}},$$

поскольку для его задания необходимо зафиксировать  $|\mathfrak{X}|$  параметров  $p_x$ ,  $x \in \mathfrak{X}$ , т.е. случайное множество  $K$  с независимо-точечным распределением полностью определяется своей проекцией.

И. Гудмэном получены связи между нечеткими и случайными множествами. Стоит отметить, что изучение этих связей началось с введения случайных множеств с целью развития и обобщения аппарата нечетких множеств Л.Заде. Дело в том, что математический аппарат нечетких множеств не позволяет в должной мере учитывать различные варианты зависимости между понятиями (объектами), моделируемыми с его помощью, т.е. не является достаточно гибким. Так, для описания «общей части» двух нечетких множеств используется треугольная норма. Чаще всего используют две треугольные нормы – вероятностное произведение и пересечение по Заде. Если применяется первая из них, то фактически предполагается, что множества ведут себя как проекции независимых случайных величин. Операция пересечения по Заде также накладывает вполне определенные ограничения на вид зависимости между множествами, причем в этом случае найдены даже необходимые и достаточные условия.

УДК 517.96+517.55

## РАЗНОСТНЫЕ УРАВНЕНИЯ В КОНУСАХ ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ РЕШЕТКИ

**Т.И. Некрасова**

**Научный руководитель Е.К. Лейнартас**

*Сибирский федеральный университет*

Одномерная теория линейных разностных уравнений относится к числу классических и хорошо развитых разделов математики, и в случае постоянных коэффициентов существует исчерпывающее описание пространства решений таких уравнений. Многомерная ситуация значительно сложнее, и даже для уравнений с постоянными коэффициентами исследованы далеко не все возникающие проблемы.

В данной работе сформулирована задача Коши для разностного уравнения в конусе целочисленной решетки  $Z^n$  и предьявлена формула для ее решения.

Конусом  $K$  в  $Z^n$  будем называть линейную комбинацию из  $s$  векторов  $a^1, \dots, a^s \in Z^n$ :

$$K = \{x: x = \lambda_1 a^1 + \dots + \lambda_s a^s, \lambda_i \in Z_+, a^i \in Z^n, i = 1, \dots, s\},$$

где  $Z_+$  – целые неотрицательные числа.

Обозначим  $A = \{\alpha\} \subset K$  – некоторое фиксированное конечное множество точек конуса и рассмотрим разностное уравнение вида

$$\sum_{\alpha \in A} c_\alpha f(x + \alpha) = 0, x \in K, \quad (1)$$

где  $c_\alpha$  – коэффициенты (постоянные) уравнения.

Случай, когда  $K = Z_+^n$ , рассматривался в работах Bousquet-Mélou M., Petkovšek M. (2000), Лейнартаса Е. К. (2007).

Отметим, что разностные уравнения в конусах целочисленной решетки возникают естественным образом в некоторых задачах комбинаторного анализа. Например, в задаче об обобщенных путях Дика.

Пусть дан набор шагов  $L = \{h^1, \dots, h^m\} \in Z^n$  и дан заостренный конус  $K$ . Обозначим  $f(x)$  – число путей, которыми можно прийти из начала координат до точки  $x$ , используя только шаги из  $L$  и оставаясь в конусе  $K$ . Очевидно, что искомое число путей удовлетворяет рекуррентному соотношению вида

$$f(x) = \sum_j f(x - a_j).$$

Сделаем замену  $x \rightarrow x + h^1 + \dots + h^m$ . Тогда уравнение переписется в виде

$$f(x + h^1 + \dots + h^m) = \sum_j f(x + h + \dots + [j] + \dots + h^m),$$

который можно легко свести к (1). Таким образом, задача о числе путей сводится к разностному уравнению.

Определим отношение частичного порядка  $\geq_K$  между векторами  $m$  и  $\alpha \in Z^n$ . А именно, будем писать

$$m \geq_K \alpha,$$

если  $m + K \subset \alpha + K$ . И, кроме того, обозначим

$$m \not\geq_K \alpha,$$

если  $t \in K \setminus \{K + \alpha\}$ .

Характеристическим многочленом для разностного уравнения (1) назовем многочлен

$$\sum_{\alpha \in A} c_{\alpha} z^{\alpha} =: Q(z),$$

где  $z^{\alpha} = z_1^{\alpha_1} z_2^{\alpha_2} \dots z_n^{\alpha_n}$ ,  $z = (z_1, z_2, \dots, z_n) \in \mathbb{C}^n$ , а  $\mathbb{C}^n$  —  $n$ -мерное комплексное пространство.

Многогранником Ньютона  $N_q$  многочлена  $Q$  называется выпуклая оболочка в  $\mathbb{R}^n$  элементов множества  $A$ .

Зафиксируем  $t \in N_q \cap \mathbb{Z}^n$  и обозначим

$$K_m = \{x \in K : x \not\geq_K t\}$$

Сформулируем задачу. Найти решение уравнения (1), совпадающее на  $K_m$  с заданной функцией  $\varphi$ :

$$f(x) = \varphi(x), \quad x \in K_m. \quad (2)$$

Решение  $P(x)$  разностного уравнения

$$\sum_{\alpha \in A} c_{\alpha} P(x + \alpha) = \delta_0(x), \quad x \in \mathbb{Z}^n,$$

где

$$\delta_0(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \neq 0, \\ 1, & \text{если } x = 0. \end{cases}$$

будем называть фундаментальным решением.

Продолжим функцию  $\varphi$  на  $\mathbb{Z}^n$

$$\tilde{\varphi}(x) = \begin{cases} \varphi(x), & \text{если } x \in K_m, \\ 0, & \text{если } x \notin K_m. \end{cases}$$

и определим функцию  $\mu$  следующим образом:

$$\mu(x) = \sum_{\alpha \in A} c_{\alpha} \tilde{\varphi}(x + \alpha), \quad x \in \mathbb{Z}^n, \quad (3)$$

Пусть  $S = \{x \in \mathbb{Z}^n : \exists \alpha \in A \text{ такое, что } x + \alpha \in K_m\}$ . Обозначим за  $S_K$  и  $\hat{S}_K$  следующие множества:

$$S_K = S \cap K,$$

$$\hat{S}_K = S \setminus S_K.$$

Определим функцию

$$\tilde{\mu}(x) = \begin{cases} \mu(x), & x \in \hat{S}_K, \\ 0, & x \notin \hat{S}_K. \end{cases} \quad (4)$$

Будем рассматривать *симплициальные конусы*, то есть такие, в которых каждый элемент выражается через образующие единственным образом. В частности, это означает, что векторы  $a^1, \dots, a^s$  линейно независимы и число образующих  $s \leq n$ .

**Теорема.** Пусть  $t$  – вершина многогранника Ньютона  $N_q$ , удовлетворяющая условию

$$t \underset{K}{\geq} \alpha, \quad \alpha \in A.$$

Тогда задача Коши (1)-(2) имеет единственное решение, которое можно найти по формуле вида

$$f(x) = \sum_{y \in \hat{S}_K} \tilde{\mu}(y) P(x - y), \quad (5)$$

где  $\tilde{\mu}(y)$  строится в соответствии с (3), (4), а  $P(x)$  – фундаментальное решение разностного уравнения (1).

УДК 519.248:[33+301+159.9]

## ПОЛНОЕ СЕТ-РАССТОЯНИЕ И СЕТ-РАССЕЯНИЕ МНОЖЕСТВА СОБЫТИЙ

М.И. Попкова

Научный руководитель Е.Е. Голденок

*Сибирский федеральный университет*

В статье будут рассмотрены новые эвентологические понятия сет-расстояния, полной ковариации и сет-рассеяния.

Обычно расстояние определяется лишь для пар элементов, а не для произвольных множеств элементов. Сет-функция  $\Delta_X$ , определяемая для  $X \subseteq \mathfrak{X}$  как

$$\Delta_X = P\left(\bigcup_{x \in X} x\right) - \frac{1}{|X|} \sum_{x \in X} P(x),$$

называется сет-расстоянием множества событий  $X \subseteq \mathfrak{X}$ . Данная функция обобщает понятие вероятностного расстояния между двумя событиями  $x, y \in \mathfrak{X}$ :

$$\Delta_{x,y} = \frac{1}{2} P(x \Delta y),$$

а так же для произвольного  $X \subseteq \mathfrak{X}$  обладает привычными свойствами расстояния: неотрицательностью и симметричностью.

Далее, определим расстояние события до множества. Пусть  $x \in \mathfrak{X}$ , расстоянием этого события до множества  $X \subseteq \mathfrak{X}$  называется действительная числовая функция  $d: \mathfrak{X} \times 2^{\mathfrak{X}} \rightarrow \mathbb{R}$ , которая на  $(x, X) \in \mathfrak{X} \times 2^{\mathfrak{X}}$  принимает значение

$$d(x, X) = \frac{1}{|X|} P \left\{ x \Delta \left( \bigcup_{y \in X} y \right) \right\},$$

Расстояние между событием и множеством событий – это частный случай расстояния между множествами событий. Расстоянием между множествами событий  $X \subseteq \mathfrak{X}$  и  $Y \subseteq \mathfrak{X}$  называется действительная числовая функция  $d: 2^{\mathfrak{X}} \times 2^{\mathfrak{X}} \rightarrow \mathbb{R}$ , которая на  $(X, Y) \in 2^{\mathfrak{X}} \times 2^{\mathfrak{X}}$  принимает значение, равное вероятности симметрической разности объединений этих двух множеств событий:

$$d(X, Y) = \frac{1}{|X| \cdot |Y|} P \left\{ \left( \bigcup_{x \in X} x \right) \Delta \left( \bigcup_{x \in Y} x \right) \right\},$$

Следует отметить, что в этих определениях идет речь о псевдометриках, т.к. для этих двух определений не выполняется аксиома нуля.

Рассмотрим произвольное конечное множество событий  $\mathfrak{X} \subseteq \mathcal{F}$  из алгебры вероятностного пространства  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$ . События  $x \in \mathfrak{X}$  имеют вероятности  $P(x)$ . В случае, если  $\mathfrak{X} = \{x, y\}$  – дуплет, получаем следующую формулу парной ковариации:

$$\text{Kov}_{xy} = P(x \cap y) - P(x)P(y),$$

которая имеет следующую метрическую интерпретацию:

$$2\text{Kov}_{xy} = P^i(x \Delta y) - P(x \Delta y),$$

где  $P(x \Delta y) = P(x \cup y) - P(x \cap y)$  - вероятностное расстояние между событиями в общем случае, а  $P^i(x \Delta y) = P(x \cup y) - P(x)P(y)$  - вероятностное расстояние между независимыми событиями, имеющими те же вероятности, что и  $x$  и  $y$ . Аналогично можно выписать формулы для М-дополнения  $\{x, y\}^c$  дуплета событий  $\{x, y\} \subseteq \mathfrak{X}$ :

$$\text{Kov}_{\{x,y\}^c} = P(x^c \cap y^c) - P(x^c)P(y^c),$$

которая совпадает с парной ковариацией дуплета событий  $\{x, y\}$ . Парная ковариация М-дополнения дуплета событий так же имеет метрическую интерпретацию:

$$2\text{Kov}_{\{x,y\}^c} = P^i(x^c \Delta y^c) - P(x^c \Delta y^c),$$

Таким образом, парная ковариация, а также парная ковариация М-дополнения дуплета событий являются мерами зависимости событий из дуплета, а их метрические интерпретации имеют смысл разности вероятностных расстояний между событиями дуплета в общем и независимом случаях.

Рассматривая вместо дуплета произвольное подмножество событий из  $\mathfrak{X}$  можем определить мультиарные ковариации множества событий, а также его М-дополнения:

$$\text{Kov}_X = P\left(\bigcap_{x \in X} x\right) - P^i\left(\bigcap_{x \in X} x\right),$$

$$\text{Kov}_{X^c} = P\left(\bigcap_{x \in X} x^c\right) - P^i\left(\bigcap_{x \in X} x^c\right),$$

Мультиарные ковариации множества событий и его М-дополнения представляют собой обобщение понятия парных ковариаций дуплета событий и определяются следующими соотношениями:

$$\text{Kov}_X = \Delta_{X^c}^i - \Delta_{X^c},$$

$$\text{Kov}_{X^c} = \Delta_X^i - \Delta_X$$

Полная ковариация, или сет-рассеяние, множества событий  $\mathfrak{X}$  определяется как величина, равная сумме произведений мультиарных ковариаций  $\text{Kov}_X$  подмножеств  $X \subseteq \mathfrak{X}$  на мощности этих подмножеств:

$$\overline{\text{Kov}}_{\mathfrak{X}} = \sum_{X \subseteq \mathfrak{X}} |X| \text{Kov}_X$$

Полная ковариация (сет-рассеяние) множества событий метрически интерпретируется как разность полных сет-расстояний этого множества в тотально независимом и общем вариантах:

$$\overline{\text{Kov}}_{\mathfrak{X}} = \bar{\Delta}_X^i - \bar{\Delta}_X$$

где  $\bar{\Delta}_X$  - полное сет-расстояние, которое определяется как сумма сет-расстояний всех подмножеств данного множества:

$$\bar{\Delta}_x = \sum_{x \in \mathfrak{X}} (\Delta_x)$$

Отметим, что сет-рассеяние есть совокупная метрическая характеристика структуры зависимости множества событий.

В качестве практического примера можно рассмотреть любую задачу на измерение полного сет-расстояния и сет-рассеяния множества событий.

УДК 539.37

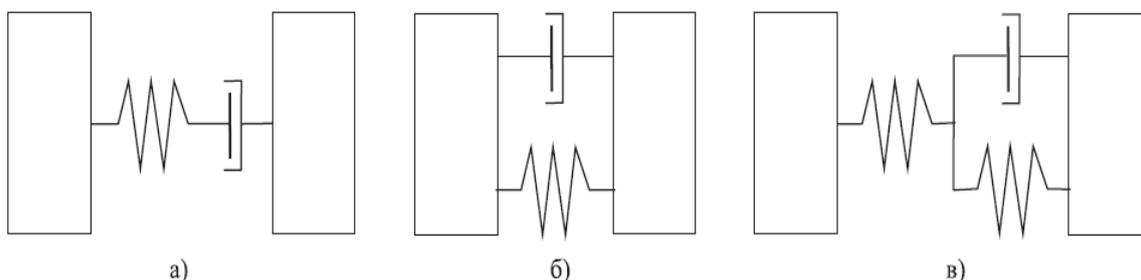
## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ В СЛОИСТЫХ УПРУГИХ СРЕДАХ С ТОНКИМИ ВЯЗКОУПРУГИМИ ПРОСЛОЙКАМИ

М.А. Похабова

Научный руководитель В.М. Садовский

*Сибирский федеральный университет*

Разработаны вычислительные алгоритмы для анализа распространения волн напряжений и деформаций в структурно неоднородных средах типа горных пород [1], состоящих из большого количества упругих деформируемых слоев с тонкими вязкоупругими прослойками. На основе реологического метода построены модели деформирования прослоек различного уровня сложности, описывающие упругие и вязкоупругие свойства материала.



*Рис. 1. Реологические схемы взаимодействия блоков:*

*а) модель Максвелла, б) модель Кельвина – Фойхта, в) модель Пойнтинга – Томсона*

Наиболее простой вид имеют модели вязкоупругого деформирования, которые строятся с помощью двух реологических элементов – упругой пружины и вязкого демпфера [2]. Они записываются в виде систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений.

На практике процесс сжатия обычно вызывает большее сопротивление материала, чем процесс растяжения. Предельный вариант несимметричного взаимодействия блоков описывается схемой жесткого контакта, согласно которой при сжатии перемещения, скорости и напряжения непрерывны на границе раздела (т.е. прослойка считается абсолютно жесткой), а при растяжении эта граница представляет собой свободную поверхность. Нелинейные граничные условия жесткого контакта формулируются в терминах вариационного неравенства, для численного решения которого разработан специальный алгоритм корректировки напряжений.

При численном решении одномерных задач применены монотонные сеточно-характеристические схемы со сбалансированным числом шагов по времени в слоях и прослойках.

Верификация вычислительных алгоритмов и программ проводилась путем сравнения результатов расчетов с точным решением задачи об отражении и прохождении монохроматической волны через прослойку между двумя протяженными блоками, занимающими левое и правое полупространства.

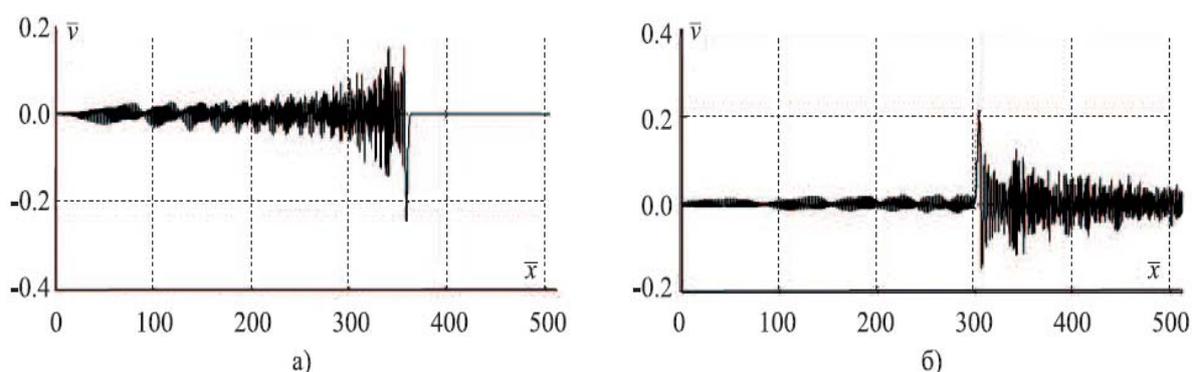


Рис.2. Распределение скорости за фронтом падающей (а) и отраженной (б) волн, вызванных в слоистой среде воздействием короткого импульса

Приведенные на рис. 2 результаты демонстрируют качественное отличие волновой картины в слоистых средах по сравнению с однородной средой. Это отличие заключается в появлении отраженных от прослоек волн – характерных осцилляций за фронтом волны нагружения по мере ее прохождения через границы раздела.

В процессе тестирования алгоритмов проводились аналогичные расчеты для упругих прослоек, импеданс которых совпадает с импедансом слоев, а плотность на порядок ниже их плотности. В этом случае волна, вызванная импульсным воздействием на границе, проходит через прослойки как в однородной среде в виде уединенного импульса, но ее скорость естественным образом корректируется, поскольку скорости распространения возмущений в слое и в прослойке сильно различаются. Амплитуда

волны практически не искажаются на протяжении сотен тысяч шагов по времени основной схемы.

Большая серия методических расчетов показала, что если механические параметры материалов, а также толщины слоев и прослоек не позволяют производить сбалансированный расчет задачи с предельно допустимыми шагами по времени, то для достижения удовлетворительной точности необходимо шаг в прослойке выбрать предельным, а в основном слое применить схему повышенной точности с реконструкцией решения, производя расчет с шагом ниже предельного значения.

Одной из важнейших технологических задач угледобычи является прогноз внезапного обрушения кровли угольных шахт. Этому процессу предшествует ослабление механического контакта между блоками: порода приобретает ослабленную микроструктуру. Такое состояние среды можно обнаружить, возбуждая в ней упругие волны малой амплитуды и регистрируя отклик на эти возмущения, что может быть использовано при разработке специальных технических устройств для своевременного предсказания и предотвращения аварийных ситуаций, связанных с внезапным обрушением кровли угольных шахт.

Цель работы состоит в разработке надежных вычислительных алгоритмов для расчета распространения упругих волн в горных породах на основе математических моделей, учитывающих сложные реологические свойства материала прослоек. Предлагаемые алгоритмы реализованы в виде параллельных программ для многопроцессорных кластерных и графических вычислительных систем. Одномерные расчеты плоских волн, выполненные на суперкомпьютерах для большого числа слоев, позволили проанализировать специфические «маятниковые» волны, связанные со структурной неоднородностью среды.

УДК 519.688

## **ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ШТРАФОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКИМ АЛГОРИТМОМ**

**А.В. Родионова**

**Научный руководитель И.А. Панфилов**

*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время все чаще для решения задач оптимизации применяются стохастические методы и, в частности, генетические алгоритмы

(ГА) – методы, основанные на естественном отборе, то есть в них используются аналоги биологических процессов эволюции: мутация, селекция, скрещивание.

Генетические алгоритмы применимы для широкого класса задач оптимизации во многом за счет того, что они являются методами прямого поиска, а значит, не требуют множественных условий на целевую функцию, например, не важна ее непрерывность или дифференцируемость. Помимо всего этого, правильно настроенные ГА прекрасно справляются и с задачами, в которых существуют ограничения на переменные, то есть с задачами условной оптимизации. Такие задачи в общем виде могут быть представлены следующим образом:

$$\begin{aligned} f(X) &= f(x_1, x_2, \dots, x_N) \rightarrow opt \\ left(i) &\leq x_i \leq right(i), i = \overline{1, N} \\ g_i(X) &\leq 0, i = \overline{1, q} \\ h_i(X) &= 0, i = \overline{q + 1, m} \end{aligned}$$

Существует множество подходов к решению задач условной оптимизации. Одним из таких подходов является метод, основанный на штрафных функциях.

В данной работе подробно рассмотрены два метода, построенные на штрафных функциях: метод статических штрафов и метод динамических штрафов.

Метод статических штрафов предполагает для каждого ограничения настройку определенного числа уровней нарушения ограничения, затем для каждого нарушения требуется задать коэффициент штрафа, то есть каким образом нарушение того или иного ограничения будет влиять на функцию пригодности.

Метод динамических штрафов основан на зависимости размера штрафа от времени, то есть номера популяции. Это позволяет на начальных итерациях штрафовать нарушение ограничений не так жестко, как на последних.

Данные методы были рассмотрены на множестве тестовых функций. Далее будут перечислены выводы, которые были получены в результате анализа применения этих методов.

Метод статических штрафов требует от пользователя знания дополнительной информации о задаче, поскольку при работе с ним нужно настраивать большое количество параметров, например, множество уровней нарушения ограничений или коэффициенты штрафа. Стоит отметить, что для каждой отдельной задачи все параметры подбираются индивидуально. Таким образом, можно утверждать, что данный метод требует множества

усилий при настройке, но, с другой стороны, именно это позволяет ЛПР более точно настраивать алгоритм под задачу, чем при других методах. К положительным аспектам стоит также отнести то, что при использовании метода статических штрафов, возможен учет каждого ограничения в отдельности, то есть важность того или иного условия, что невозможно при использовании динамических штрафов.

Важно также учитывать тот факт, что данный метод тесно связан с методами, основанными на предположении о превосходстве допустимых индивидов над недопустимыми. Этот эффект будет присутствовать при слишком жестких штрафах для нарушения ограничений. Результаты работы алгоритма на примере мультипликативной потенциальной функции с жесткими штрафами представлены ниже.

Постановка задачи:

$$f(x_1, x_2) = -z(x_1)z(x_2)$$

$$z(x) = -\frac{1}{(x-1)^2 + 0.2} - \frac{1}{2(x-2)^2 + 0.15} - \frac{1}{3(x-3)^2 + 0.3}$$

$$x_1(x_2 + 3) \leq 2, \quad 10x_1 + 2x_2 \leq 7, \quad x_1 - x_2 \leq -2$$

$$x_1, x_2 \in [0; 4]$$

Без нарушения ограничений на координаты, было найдено оптимальное решение:

$$f(0.062745, 2.07059) = -8.04522$$

После дополнительных настроек параметров и ослабления штрафов на незначительные нарушения ограничений было найдено дополнительное решение:

$$f(0.0941176, 2.07059) = -8.46802$$

Данное решение незначительно нарушает последнее ограничение на координаты, но в свою очередь дает значительное улучшение оптимума целевой функции.

Таким образом, при использовании метода статических штрафов, ЛПР может идти на компромисс – допускается нарушение ограничений при значительных улучшениях оптимума целевой функции.

Метод динамических штрафов намного проще в реализации, чем метод статических штрафов, так как для него не требуется настройки большого количества параметров. Главной особенностью метода является то, что с увеличением номера поколения штрафы за нарушение ограничений возрастают. В данном методе путем вариации лишь нескольких параметров можно добиться как компромисса “ограничения – целевая функция”, о

котором говорилось выше, так и смертельных штрафов на последних итерациях алгоритма.

Результаты работы метода динамических штрафов с различными параметрами на представленной выше мультипликативной потенциальной функции приведены далее. Запуски алгоритма проводились с ресурсами 50 индивидов на 100 поколений. Поскольку генетические алгоритмы являются стохастическими методами, то проводилось 100 независимых запусков одного и того же алгоритма на одной задаче в одинаковых условиях. Все результаты усреднялись.

- Разброс надежности (то есть процент успешных запусков к общему числу запусков) составил 93% до 100%.

- Скорость сходимости (номер итерации, когда решение было найдено, усредненное по числу успешных запусков) варьируется от 26.28 до 84.63.

Стоит отметить, что при вариации параметров, а именно, влияния номера итерации при вычислении функции пригодности, скорость сходимости изменяется. Но также изменяется и выборочная дисперсия. Для данной задачи результаты представлены в таблице:

Влияние номера итерации	Скорость сходимости	Выборочная дисперсия
Умеренное	84.63	13.09
Среднее	30.43	67.21
Значительное	26.28	214.12

Таким образом, при уменьшении влияния номера итерации при штрафования, поиск решения происходит более плавно. При увеличении влияния поиск оптимального решения происходит более скачкообразно. Значит, если ЛПР ограничен в ресурсах на количество итераций в одном запуске, но не ограничен в количестве запусков для настройки параметров, то стоит придерживаться среднего влияния номера итерации при вычислении функции пригодности.

Анализ результатов на тестовых задачах показал, что при условной оптимизации правомерно использование и метода статических штрафов, и метода динамических штрафов. Но ЛПР должен понимать, что выбор метода всегда зависит от конкретной задачи. Также необходимо отметить, что при статических штрафах требуется большее количество настроек, а значит, и времени на тестирование задачи. Поэтому данный метод стоит использовать, когда ЛПР четко сознает, какие условия для него являются приоритетными. Если требуется получить решение без особых усилий при реализации, то лучше использовать метод динамических штрафов.

## ПРОГРАММИРОВАНИЕ: СОЗДАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ИГРЫ

**С.Г. Симашкевич, В.И. Константинов**  
**Научный руководитель И.В. Фроленков**  
*Физико-математическая школа  
при Сибирском федеральном университете*

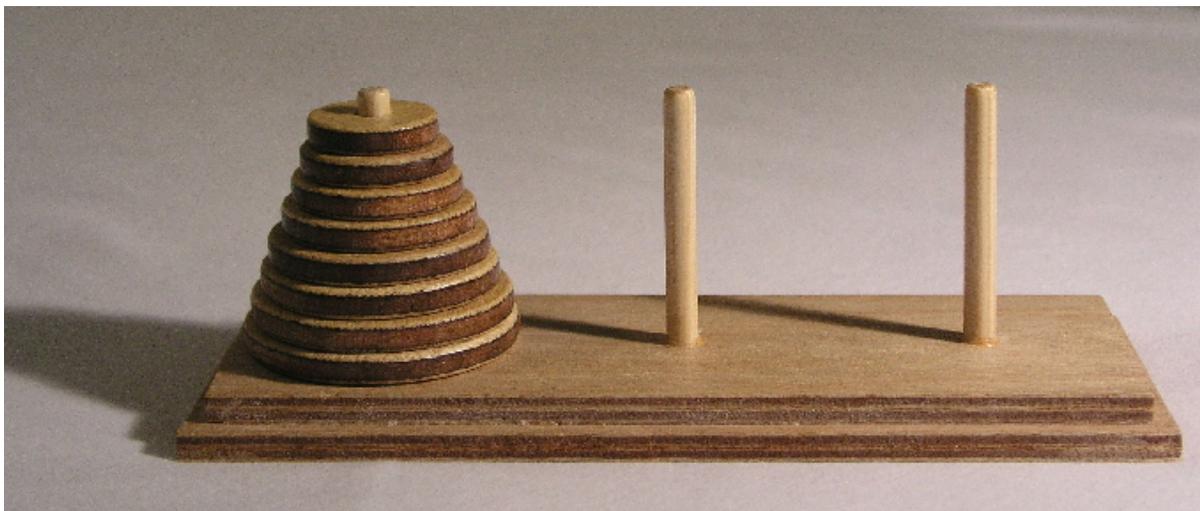
### *Задачи:*

- Исследовать и написать программы уже разработанных игр.
- Разработать и апробировать собственную программу, способную играть с человеком.

### *Ханойская башня*

Ханойская башня – всемирно известная логическая игра, получившая огромное распространение в XIX в.

Цель игры состоит в том, чтобы переложить N дисков с одного стержня на другой, причем класть больший диск на меньший запрещено.



Количество перекладываний в зависимости от количества колец вычисляется по формуле  $2^n - 1$ .

### *Алгоритм :*

В процессе разработки программы было определено, что самым оптимальным является рекурсивный алгоритм, где перекладывание N дисков можно выразить через перекладывание N-1 диска, N-1 через (N-1)-1 и так далее до тех пор, пока N не будет равно 1.

```

var N:integer;
Procedure Hanoi(a,b,c,n:integer);
Begin
  if N=1 then
    writeln(a,'=>',c)
  else
    begin
      Hanoi(a , c , b, n-
1);
      Hanoi(a , b , c, 1);
      Hanoi(b , a , c, n-
1);
    end;
end;
begin
  readln(N);
  if N>0 then
    Hanoi(1,2,3,N);
end.

```

### Задача о ходе коня

В XIX в., многие ученые размышляли над решением задачи о ходе коня, которая состоит в том, чтобы определить маршрут, по которому шахматная фигура – конь сможет обойти каждую клетку поля 8x8, учитывая, что дважды на одну клетку вставить запрещено.

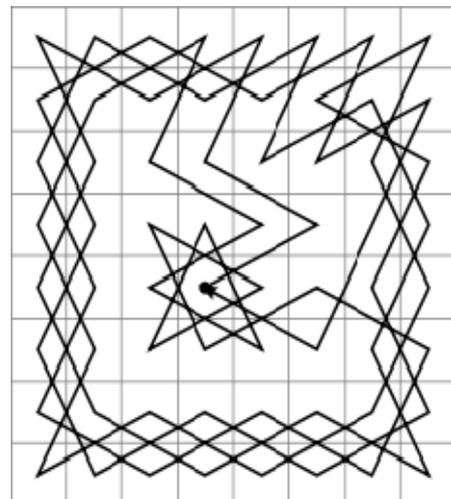
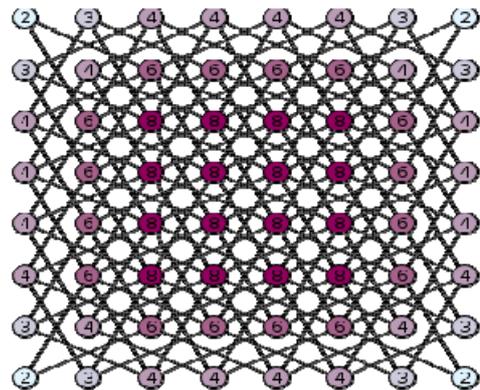
Количество всех замкнутых маршрутов коня (гамильтоновых циклов) без учёта направления обхода равно 13 267 364 410 532 (количество замкнутых маршрутов с учётом направления в два раза больше).

Маршрут, найденный шахматным автоматом, замкнут, проходит через все поля по одному разу, к тому же может начинаться с любого поля.

```

const hod: array [1..2,1..8] of integer =
  ((1, 2, 2, 1, -1, -2, -2, -1),
  (2, 1, -1, -2, -2, -1, 1, 2));
var doska:array [1..8, 1..8] of integer;
x,y,level,perexod,i,j:integer;
procedure step(level,x,y,perexod:integer);
begin

```



```

inc(level);
x:=x+xod[1,perexod]; y:=y+xod[2,perexod];
if (x>8) or (x<1) or(y>8) or (y<1) then exit;
if doska[x,y]<>0 then exit;
if level<64 then begin
doska[x,y]:=level;
step(level,x,y,1);
step(level,x,y,2);
step(level,x,y,3);
step(level,x,y,4);
step(level,x,y,5);
step(level,x,y,6);
step(level,x,y,7);
step(level,x,y,8);
end;
end;
begin
read (x,y);
doska[x,y]:=1;
level:=1;
for i:= 1 to 8 do if ((xod[1,i]+x)<=8) and ((xod[1,i]+x)>=1)
and ((xod[2,i]+y)<=8) and ((xod[2,i]+y)>=1) then perexod:=i;
step(level,x,y,perexod);
for i:=8 downto 1 do
begin writeln;
for j:=1 to 8 do
if doska[i,j]>9 then write(doska[i,j], ' ')
else write(doska[i,j], ' ');
end;
end.

```

УДК 51

## МЕТОД РУНГЕ: ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ УРАВНЕНИЙ 3-Й И 4-Й СТЕПЕНИ

**В.А. Сопкова**

**Научный руководитель Н.Н. Осипов**

*МБОУ СОШ школа № 10*

В работе [1] немецкий математик Карл Рунге получил первую общую теорему о конечности множества целых точек на алгебраических кривых из некоторого достаточно широкого класса. Более того, предло-

женный им метод позволял находить эффективные границы для целых точек таких кривых. Однако при практическом применении метода Рунге необходимо разлагать в ряд Лорана ветви соответствующей алгебраической функции, так что этот метод нельзя считать элементарным.

В работе предлагается полностью элементарная версия метода Рунге для решения кубических уравнений с двумя неизвестными в целых числах [2], [3]. В частности, предложенный метод позволяет дать совершенно элементарное доказательство теоремы о конечности множества решений кубических диофантовых уравнений, удовлетворяющих условию Рунге.

В статье [3] указывается на неочевидность компьютерной реализации предложенного элементарного подхода к решению кубических уравнений. Мы предлагаем вариант такой реализации для уравнений с фиксированной старшей однородной частью:

$$y(2y^2 - x^2) + a_1x^2 + a_2xy + a_3y^2 + a_4x + a_5y + a_6 = 0,$$

где  $a_1a_2 + a_4 \neq 0$ . Частным случаем этого уравнения является уравнение

$$y(2y^2 - x^2) - x - c = 0 \tag{1}$$

из работы [4], в которой для его решений получена оценка  $|y| \leq 10|c|$ . Как показано в [3], эту оценку можно улучшить до

$$|y| \leq (2c^2 + 1)^{1/2} + |c|,$$

причём последняя оценка будет уже точной для бесконечно многих  $c$ . Прямое применение данной оценки приводит к перебору длиной  $O(c)$ , однако мы можем оптимизировать алгоритм поиска решений и сократить длину перебора до  $O(c^{1/2})$ . В работе приводится статистика для числа решений уравнения (1) в пределах  $1 \leq c \leq 10^5$ .

Поскольку метод Рунге применим к уравнениям любой степени, лишь бы они удовлетворяли условию Рунге, возникает естественное желание поискать элементарный подход и в некоторых других частных ситуациях.

В работе рассматриваются многочисленные и разнообразные примеры решения диофантовых уравнений 4-й степени с двумя неизвестными. Эти примеры представляются нам содержательными (не допускают решения другими известными нам элементарными способами) и охватывающими все наиболее интересные случаи, связанные с методом Рунге. Приведём некоторые из них:

$$x^4 - 5xy^3 + 2x^2 + y^2 + 1 = 0,$$

$$2x^4 - xy^3 - y^3 + y^2 = 0,$$

$$xy^3 - x^3 - y^3 + y^2 = 0,$$

$$xy(y^2 - 2x^2) + y^3 - xy^2 - x + 1 = 0.$$

И ещё один пример уравнения 5-й степени, которое также может быть решено элементарно:

$$2x^4y - 2x^3 - y^3 - 1 = 0.$$

По-видимому, предложенный нами элементарный подход к решению довольно широкого класса диофантовых уравнений 3-й и 4-й степени является новым в олимпиадной теории чисел. Об этом свидетельствует и обсуждение соответствующих задач на таких известных научных форумах, как [dxdy.ru](http://dxdy.ru) и [artofproblemsolving.com](http://artofproblemsolving.com).

### Список литературы

1. Runge C. Uber ganzzahlige Loosungen von Gleichungen zwischen zwei Veranderlichen / C. Runge // J. reine und angew. Math. 1887. V. 100. P. 425 – 435.
2. Сопкова В.А. Элементарная версия метода Рунге для кубических уравнений / В.А. Сопкова // В сб.: Научные труды молодых исследователей Краевого научного общества учащихся. Красноярск, 2011. С. 67 – 69.
3. Осипов Н.Н. Элементарная версия метода Рунге для кубических уравнений / Н.Н. Осипов // Математика в школе. 2012. № 1. С. 64 – 69.
4. Hilliker D.L. An Algorithm for Solving a Certain Class of Diophantine Equations / D.L. Hilliker // Math. Comput. 1982. V. 38. № 158. P. 611 – 626.

УДК 519.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЛГОРИТМА PSO

**А.В. Спирина**

**Научный руководитель С.С. Бежитский**

*Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. акад. М. Ф. Решетнева*

Алгоритм PSO (Particle Swarm Optimization), или алгоритм роя частиц, был предложен в 1995 г. Джеймсом Кеннеди (James Kennedy) и Расселом Эберхартом (Russel Eberhart) как метод оптимизации непрерывных не-

линейных функций. Данный алгоритм был изложен в статье J. Kennedy, R. C. Eberhart, "Particle swarm optimization". Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks.

Целью данного алгоритма является решение задач глобальной поисковой оптимизации с вещественными переменными.

Данный алгоритм моделирует многоагентную систему, где агенты-частицы двигаются к оптимальным решениям, обмениваясь при этом информацией с другими частицами (частицами-«соседями»).

Характеристиками частицы являются ее координаты в пространстве решений, а также вектор скорости перемещения. Кроме того, каждая частица хранит координаты наилучшего решения, когда-либо найденного за все время поиска, а также лучшее из пройденных всеми частицами решений.

На каждой итерации алгоритма направление и длина вектора скорости каждой из частиц изменяются в соответствии со сведениями о найденных оптимумах:

$$v^{i+1} = \omega v^i + c_1 r_1 (p^{individual\_best} - p^i) + c_2 r_2 (p^{group\_best} - p^i),$$
$$p^{i+1} = p^i + v^{i+1},$$

где  $v$  – скорость частицы, причем  $v \in [-v_{max}, v_{max}]$ ;  $\omega$  – вес инерции скорости;  $p$  – координаты частицы;  $r_1$  и  $r_2$  – независимые случайные числа, распределенные по равномерному закону;  $c_1$  и  $c_2$  – константы, показывающие как нужно двигаться по направлению к лучшим решениям;  $p^{individual\_best}$  – лучшее решение, когда-либо найденное частицей за все время поиска;  $p^{group\_best}$  – лучшее из решений, когда-либо найденных всей стаей.

Алгоритм с приведенным выше правилом обновления векторов скоростей частиц является модификацией классического алгоритма PSO. Данная модификация была предложена в 1998 г. Юхи Ши (Yuhui Shi) и Расселом Эберхартом в статье Y. Shi, R. Eberhart, "A modified particle swarm optimizer". *Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. Эта модификация отличается от классического алгоритма введением дополнительного параметра – коэффициента инерции скорости  $\omega$ .

В работе рассматривается зависимость эффективности работы алгоритма PSO от выбора значения показателя ограничения скорости ( $v_{max}$ ), от распределения ресурсов между размером стаи и числом итераций, и от выбора показателя инерции скорости ( $\omega$ ).

Основными показателями эффективности работы алгоритма использовались (используются при небольших пространствах поиска):

- надежность – оценка вероятности обнаружения точки глобального экстремума (отношение числа успешных пусков к общему числу пусков алгоритма). (под успешными понимается пуск алгоритма, в котором был найден глобальный экстремум);

- скорость – среднее значение номера итерации, на котором был найден глобальный экстремум (считается естественно только для успешных пусков);
- разброс – минимальное и максимальное значения (закрытый интервал) номера итерации, на котором был найден глобальный экстремум среди всех успешных пусков.

Так же использовались дополнительные показатели эффективности (они используются только в случае, когда первые три основных показателя не работают, т. е. преимущественно на больших размерностях пространства поиска):

- среднее значение функции – это усредненное по всем запускам минимальное значение целевой функции, найденное в точках пространства поиска, просмотренных алгоритмом за все время поиска;
- среднеквадратическое отклонение среднего значения функции – это оценка среднеквадратического отклонения минимального значения целевой функции (показатель «среднее значение функции»);
- среднее расстояние от найденного лучшего решения до глобального – это расстояние (в Евклидовой метрике) от наилучшего найденного решения алгоритмом до объективного глобального экстремума по всем пускам;
- среднеквадратическое отклонение среднего расстояния – это корень из оценки дисперсии расстояний от наилучшего найденного решения алгоритмом до объективного глобального экстремума по всем пускам.

Для анализа были выбраны следующие функции: функция Розенброка (овражная унимодальная), функция Растригина (многоэкстремальная с «предсказуемым» глобальным экстремумом), функция Вейерштрасса (многоэкстремальная функция), функция Швепеля (многоэкстремальная с «непредсказуемым» глобальным экстремумом).

При вычислениях  $c_1 = c_2 = 2$ , число пусков для статистики = 100, точность = 0,01,  $M$  – половина интервала поиска.

При проведении анализа полученных данных для функции Вейерштрасса по значениям параметра надежности алгоритма было выявлено, что при росте размерности задачи, значение надежности является максимальным при значениях ограничения на значение скорости при  $0,01M$  и  $0,1M$ . Полученные результаты изображены на рис. 1. Кроме того, эти данные также подтверждаются значениями других параметров, как для функции Розенброка, так и для функции Растригина при изменениях размерности задач от 2 до 100. Расчеты проводились при  $\omega=0,72$ , число частиц = 30, количество итераций = 200.

На рис. 1 по оси  $X_1$  соответствует отсутствию ограничений на значение скорости, 2 –  $0,01M$ , 3 –  $0,1M$ , 4 –  $0,4M$ , 5 –  $0,7M$ , 6 –  $M$ , 7 –  $2M$ .

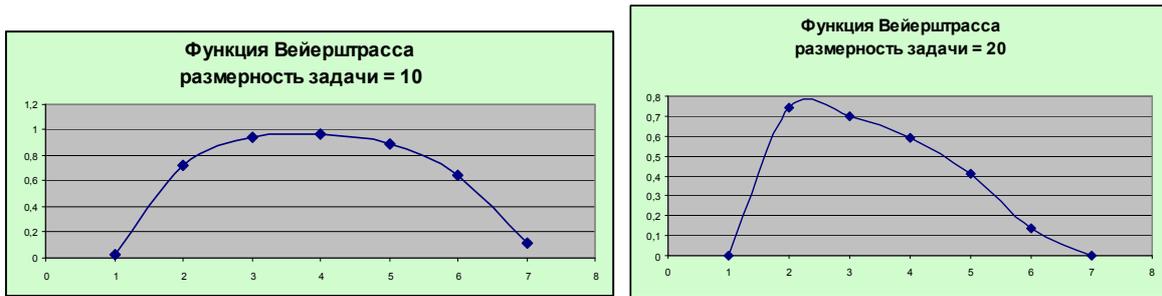


Рис. 1. Значения надежности алгоритма PSO

Следующим параметром рассматривается распределение ресурсов между размером стаи и числом итераций. При расчетах использовалось ограничение скорости =  $M$ ,  $\omega=0,72$ , общее число вычислений целевой функции=10000.

По полученным данным для функций Розенброка, Растригина, Швевеля можно сделать вывод, что в большинстве случаев лучшим распределением ресурса оказывалось распределение с минимумом частиц и максимумом поколений (итераций). Графическое представление результатов по параметрам «среднее значение функции» и «надежность» изображено на рис. 2-4.

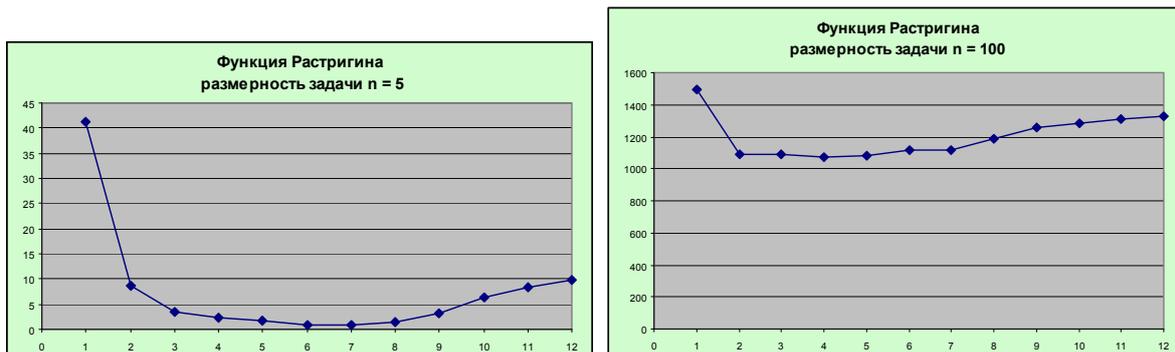


Рис. 2. Показатель «среднее значение функции», полученный алгоритмом PSO, для функции Растригина

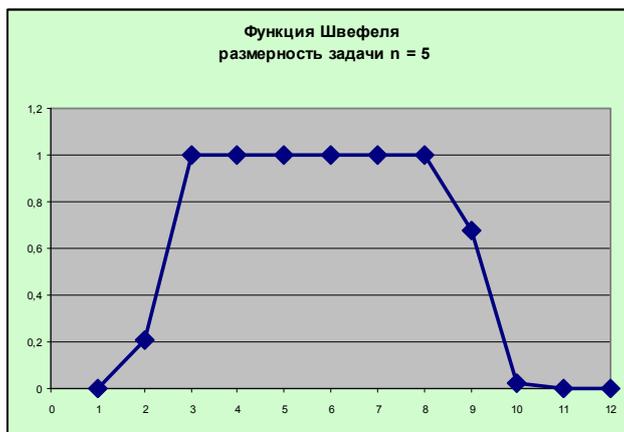


Рис. 3. Показатель «надежность», полученный алгоритмом PSO, для функции Швевеля

На рис. 2-3 по оси X 1 соответствует распределению 1 частица и 10000 итераций, 2 – 2\*5000, 3 – 3\*3333, 4 – 4\*2500, 5 – 5\*2000, 6 – 10\*1000, 7 – 20\*500, 8 – 40\*250, 9 – 100\*100, 10 – 250\*40, 11 – 500\*20, 12 – 1000\*10.



Рис. 4. Показатель «среднее значение функции», полученный алгоритмом PSO, для функции Швевеля

На рис. 4 по оси X 1 соответствует распределению 2 частица и 5000 итераций, 2 – 3\*3333, 3 – 4\*2500, 4 – 5\*2000, 5 – 10\*1000, 6 – 20\*500, 7 – 40\*250, 8 – 100\*100, 9 – 250\*40, 10 – 500\*20, 11 – 1000\*10.

Наилучшие значения инерции скорости после анализа зависимости значения инерции скорости от размерности задачи представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Значение инерции скорости алгоритма PSO

	Размерность задачи					
	2	5	10	20	40	100
<b>Функция Розенброка</b>	0,4	0,5	0,5	0,3 или 0,4	0,3	0,2
<b>Функция Растргина</b>	0,5	0,5	0,3	0,4	0,2 или 0,3	0,2 или 0,3
<b>Функция Швевеля</b>	0,1	0,2 или 0,3	0,3	0,3	0,1	0,1

Таким образом, исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что алгоритм PSO, возможно, будет работать лучше, если размер стаи будет минимален, а число итераций (поколений) – максимально. Так же при выборе ограничений скорости можно брать значение  $v_{max}$  от 0,01M до 0,1M, где M – половина интервала поиска. Относительно инерции скорости можно сделать вывод, что ее значение не должно превышать 0,5.

Все выводы данной работы сделаны только на основе исследования трёх функций (для каждого из параметров). Для повышения достоверности полученных результатов необходимо проведение дополнительных исследований.

## ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО ТИПА

Г.А. Спичак

Научный руководитель Т.Н. Шипина

*Сибирский федеральный университет*

В работе исследованы две обратные задачи для системы нелинейных параболических уравнений с данными Коши. В первой задаче в каждом уравнении неизвестными являются функции источников. Во второй задаче неизвестны коэффициенты при младших членах уравнения. Все идентифицируемые коэффициенты зависят только от временной переменной.

В основе исследования обратных задач, представленных в работе, лежит переход с использованием условий переопределения от обратной задачи к прямой задаче для нагруженных уравнений. Разрешимость полученных прямых задач доказывается методом слабой аппроксимации. Используя формулы, по которым решение обратной задачи определяется через решение прямой задачи, устанавливается разрешимость исходных обратных задач. Доказаны теоремы существования и единственности решения в классе гладких ограниченных функций.

### Задача 1.

В полосе  $\Pi_{[0;T]} = \{(t, x) | t \in [0; T], x \in E_1\}$  рассматривается задача нахождения действительных функций  $U(t, x), V(t, x), g_i(t)$ , где  $i = 1, 2$ , удовлетворяющих системе уравнений

$$\begin{cases} U_t = U_{xx} + b_{11}(t)U^2 + b_{12}(t)V + g_1(t)m_1(t, x), \\ V_t = V_{xx} + b_{21}(t)U + b_{22}(t)V^2 + g_2(t)m_2(t, x), \end{cases} \quad (1)$$

начальным условиям

$$U(t, 0) = U_0(x), \quad V(t, 0) = V_0(x), \quad x \in E_1 \quad (2)$$

и условиям переопределения

$$U(t, 0) = \alpha_1(t), \quad V(t, 0) = \alpha_2(t), \quad t \in [0; T], \quad (3)$$

где  $b_{ij}(t), m_i(t, x), U_0(x), V_0(x), \alpha_i(t), i, j = 1, 2$  – заданные действительные функции.

Считаем, что выполнены условия согласования

$$U_0(0) = \alpha_1(0), \quad V_0(0) = \alpha_2(0).$$

Пусть выполняются соотношения

$$|m_i(t, 0)| \geq \delta > 0, \quad i = 1, 2, \quad \delta - const, \quad t \in [0; T]. \quad (4)$$

Относительно входных данных предполагаем

$$b_{ij}(t) \in C([0; T]), \quad \alpha_i(t) \in C^1([0; T]), \quad i, j = 1, 2, \quad (5)$$

$$U_0(x) \in C^l(E_1), \quad V_0(x) \in C^l(E_1) \quad (6)$$

$$m_i(t, x) \in C^{0,l}(\Pi_{[0;T]}), \quad i, j = 1, 2,$$

где  $l = 4$  для доказательства теоремы существования решения обратной задачи и  $l = 6$  для доказательства единственности решения обратной задачи.

$$\left| \frac{d^k}{dx^k} U_0(x) \right| + \left| \frac{d^k}{dx^k} V_0(x) \right| + \sum_{i=1}^2 \left| \frac{\partial^k}{\partial x^k} m_i(t, x) \right| \leq C, \\ i = 1, 2, \quad C - const, \quad k = \overline{0, 4}. \quad (7)$$

Введем обозначения:

$$Z_{[0;T]} = \{U(t, x), V(t, x), g_i(t) \mid U(t, x) \in C^{1,2}(\Pi_{[0;T]}), V(t, x) \in C^{1,2}(\Pi_{[0;T]}), \\ g_i(t) \in C[0; T], i = 1, 2\},$$

$$P_{[0;T]} = \{U(t, x), V(t, x), g_i(t) \mid U(t, x) \in C^{1,4}(\Pi_{[0;T]}), V(t, x) \in C^{1,4}(\Pi_{[0;T]}), \\ g_i(t) \in C[0; T], i = 1, 2\}.$$

**Определение 1.** Под решением задачи (1) – (3) понимаем набор функций  $(U(t, x), V(t, x), g_i(t), i = 1, 2)$ , принадлежащих классу  $Z_{[0;T]}$  и удовлетворяющих системе уравнений (1), начальным условиям (2) и условиям переопределения (3).

**Теорема 1.** Пусть выполнены условия (4) – (7). Тогда существует решение задачи (1) – (3) в классе  $Z_{[0;t_*]}$ , где  $0 < t_* \leq T$ . Решение задачи единственно в классе  $P_{[0;t_*]}$ , где  $0 < t_* \leq T$ .

**Задача 2.**

В полосе  $\Pi_{[0;T]} = \{(t, x) \mid t \in [0; T], x \in E_1\}$  рассматривается задача нахождения действительных функций  $U(t, x), V(t, x), b_{ij}(t)$ , где  $i, j = 1, 2$ , удовлетворяющих системе уравнений

$$\begin{cases} U_t = U_{xx} + b_{11}(t)U^2 + b_{12}(t)V + m_1(t, x), \\ V_t = V_{xx} + b_{21}(t)U + b_{22}(t)V^2 + m_2(t, x), \end{cases} \quad (8)$$

с начальными условиями

$$U(t, 0) = U_0(x), \quad V(t, 0) = V_0(x), \quad x \in E_1 \quad (9)$$

и условиями переопределения

$$\begin{aligned} U(t, 0) &= \alpha_1(t), \quad V(t, 0) = \alpha_2(t), \quad t \in [0; T], \\ U(t, a) &= \beta_1(t), \quad V(t, a) = \beta_2(t), \quad a \neq 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где  $m_i(t, x), U_0(x), V_0(x), \alpha_i(t), \beta_i(t), i, j = 1, 2$  – заданные действительнозначные функции.

Считаем, что выполнены условия согласования

$$\begin{aligned} U_0(0) &= \alpha_1(0), \quad V_0(x) = \alpha_2(0), \\ U_0(a) &= \beta_1(0), \quad V_0(a) = \beta_2(0), \quad a \neq 0. \end{aligned}$$

Пусть выполнены соотношения

$$\begin{aligned} |\alpha_i(t)| &\geq \delta_1 > 0, \quad t \in [0; T], \quad \delta_i = const, \\ |\alpha_i(t)\beta_j^2(t) - \beta_i(t)\alpha_j^2(t)| &\geq \delta_2, \quad i \neq j, \quad i, j = 1, 2. \end{aligned} \quad (11)$$

Пусть относительно входных данных выполнены условия (6), (7) и дополнительно потребуем, чтобы было выполнено условие

$$\beta_i(t) \in C^1([0; T]) \quad i = 1, 2. \quad (12)$$

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} M_{[0; T]} &= \{U(t, x), V(t, x), b_{ij}(t) \mid U(t, x) \in C^{1,2}(\Pi_{[0; T]}), V(t, x) \in C^{1,2}(\Pi_{[0; T]}), \\ & \quad b_{ij}(t) \in C[0; T], i, j = 1, 2\}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{[0; T]} &= \{U(t, x), V(t, x), b_{ij}(t) \mid U(t, x) \in C^{1,4}(\Pi_{[0; T]}), V(t, x) \in C^{1,4}(\Pi_{[0; T]}), \\ & \quad b_{ij} \in C[0; T], i, j = 1, 2\}. \end{aligned}$$

**Определение 2.** Под решением задачи (8) – (10) понимаем набор функций  $(U(t, x), V(t, x), b_{ij}(t), i, j = 1, 2)$ , принадлежащих классу  $M_{[0; T]}$  и удовлетворяющих системе уравнений (8), начальным условиям (9) и условиям переопределения (10).

**Теорема 2.** Пусть выполнены условия (6), (7), (11), (12). Тогда существует решение задачи (8) – (10) в классе  $M_{[0; t_*]}$ , где  $0 < t_* \leq T$ . Решение задачи единственно в классе  $N_{[0; t_*]}$ , где  $0 < t_* \leq T$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ САМОНАСТРОЙКИ АЛГОРИТМА ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ СИМВОЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ

**В.В. Становов**

**Научный руководитель Е.С. Семенкин**

*Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. акад. М. Ф. Решетнева*

*Рассматривается эффективность работы самонастраивающегося алгоритма генетического программирования для задачи символьной регрессии. Разработана программная среда, реализующая алгоритм. Получены результаты работы на тестовых и практических задачах.*

Задача восстановления регрессионной зависимости может быть решена различными способами, в том числе с использованием метода генетического программирования для символьной регрессии. Однако как и для генетического алгоритма, для генетического программирования существует проблема выбора тех или иных операторов: выбор пользователем неподходящих типов селекции, скрещивания и мутации может существенно снизить эффективность работы алгоритма. Данную проблему можно решить, используя различные методы самонастройки.

Для исследования эффективности работы различных методов самонастройки была разработана программная среда, реализующая алгоритм. В программе имеется возможность выбора трех типов селекции: пропорциональная, ранговая и турнирная с настраиваемым размером турнира; два типа скрещивания: стандартное и одноточечное; два типа мутации: точечная и выращиванием поддерева с настраиваемой вероятностью мутации.

Были использованы два метода самонастройки: Population-Level Dynamic Probabilities (PDP) и Individual-Level Dynamic Probabilities (IDP). Данные подходы были разработаны для настройки вероятности выбора того или иного типа мутации в генетическом программировании.

Суть метода PDP состоит в том, что вероятности генетических операторов напрямую зависят от успешности применения того или иного оператора, т.е. чем более успешен оператор, тем больше он поощряется. Вероятности вычисляются следующим образом:

$$p_i = p_{all} + \left[ \frac{r_i \cdot (100 - n \cdot p_{all})}{scale} \right],$$

где

$$r_i = \frac{success_i^2}{used_i}, p_{all} = \frac{20}{n}, scale = \sum_{j=1}^n r_j.$$

Здесь  $success_i$  – число успешных применений оператора  $i$ ,  $used_i$  – общее число применений,  $n$  – общее число операторов.

Метод IDP сопоставляет каждому из индивидов в популяции свои значения счетчиков  $cnt_j^i$  числа неудачных применений операторов. На их основании вычисляются вероятности применения операторов для каждого индивида отдельно.

$$p_i = p_{all} + \left[ \frac{(\max_{1 \leq k \leq n} cnt_j^k + 1 - cnt_j^i) \cdot (100 - n \cdot p_{all})}{n \cdot (\max_{1 \leq k \leq n} cnt_j^k + 1) - \sum_{k=1}^n cnt_j^k} \right],$$

где  $p_{all} = \frac{20}{n}$ ,  $n$  – число операторов.

В качестве тестовых функций были взяты функции двух переменных с различными параметрическими структурами, приведенные в специальном репозитории. Исследование проводилось по следующей схеме: тестовые выборки объемом 400 были сгенерированы для каждой функции, в каждом независимом прогоне алгоритма устанавливалось число индивидов, равное 100 и число поколений, равное 1000, среднеквадратичная ошибка и длина выражения (без учета скобок) усреднялись по 20 прогонам алгоритма. Результаты приведены в таблице ниже:

номер функции	IDP		PDP	
	ошибка	длина выражения	ошибка	длина выражения
1	0,00390794	56,75	0,00452203	60,35
2	0,0024608	61,4	0,00329423	65,95
3	0,00240595	33,8	0,00238137	38,5
4	0,00198606	25,95	0,00195891	27,5
5	0,000739306	19,20	0,000929058	15,3
6	0,00294205	51,75	0,0033497	46,55
7	0,00449295	49,1	0,00481504	36,35
8	0,002114552	28,79	0,001994	17,4
9	0,00329502	29,05	0,00298749	32
10	0,00268676	61	0,00324459	53,05
11	0,00308336	58,35	0,00416098	58,7
12	0,000486303	40,5	0,000495485	31,63
13	0,00394331	61,8	0,00404056	67
14	0,00450659	40,65	0,00658	15,33
15	0,00402964	54,15	0,00414904	52,3
16	0,00857015	10,10	0,0084215	14,10
17	0,0029538	37,3	0,00303079	33,85
18	0,002411	23,35	0,00251308	25,30

19	0,00371997	34,25	0,00396451	29,95
20	0,00198532	37,8	0,00199173	38,30
21	0,00699476	18,45	0,00704279	19
22	0,0115041	25,55	0,0108664	34,90
23	0,0124355	10,25	0,0124634	12,15
24	0,00656989	36,25	0,00671105	33,65
Среднее	0,004176045	37,73083333	0,004412822	35,79625

Кроме того, при помощи описанных алгоритмов были решены задачи банковского скоринга по базам данных Australia-1 и Germany-1, приведенным в специальной репозитории в Интернете. Данные задачи сводятся к задачам классификации, которые решались путем построения разделяющей поверхности в виде символьного выражения. Анализ результатов показывает работоспособность предложенных методов самонастройки не только на тестовых функциях, но и при решении реальных задач классификации и построения регрессии.

УДК 519.688

## ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА

М.А. Сухотин

Научный руководитель Е.Д. Карпова

*Сибирский федеральный университет*

В работе для восстановления параметров классической модели трансформации речного стока по данным наблюдений применен генетический алгоритм оптимизации и его параллельная реализация для высокопроизводительных вычислительных систем.

В рассмотренной модели производится вычисление расхода потока несжимаемой жидкости в выходном створе открытого русла при известном расходе потока во входном створе и известной передаточной функции. Рассматриваемая модель может быть записана в следующей форме:

$$Q(t) = \int_0^t q(\tau) f(t - \tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $q(\tau)$  – расход потока во входном створе в момент времени  $\tau$ ;  $Q(t)$  – расход потока в выходном створе в момент времени  $t$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $f(t)$  – передаточ-

ная функция. Выражение (1) представляет собой одну из форм интеграла Дюамеля.

Передаточная функция  $f(t)$  в нашей модели представляет собой функцию вероятностного гамма-распределения, представленного в следующем виде:

$$f(t) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} t^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}}. \quad (2)$$

Здесь  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры гамма-распределения. При этом  $\alpha\beta$  – математическое ожидание распределения, а  $\alpha\beta^2$  – его дисперсия.

Пусть в некоторые моменты времени  $\{t_k\}_{k=1}^N$  известен наблюдаемый расход воды во входном створе русла  $q_i = q(t_i)$ . Соответственно, выражение (1) после дискретизации можно записать в следующем виде:

$$Q_j = \sum_{i=1}^j q_i \int_{t_j-t_i-\Delta t}^{t_j-t_i+\Delta t} f(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Здесь  $\Delta t$  – половина среднего шага по времени. Для расчета по модели (2) – (3) необходимо знать параметры гамма-распределения  $\alpha$  и  $\beta$ , которые в первом приближении можно подобрать исходя из характеристик потока.

Основные характеристики потока, влияющие на решение задачи, – средняя скорость потока  $v$  и параметр продольного рассеивания  $a$ . Параметры гамма-распределения являются функциями от  $v$ ,  $a$  и значения длины исследуемого участка русла  $L$ , в случае (2) грубо их можно рассчитать по следующим формулам:

$$\alpha = \frac{L}{va^2}, \quad (4)$$

$$\beta = a^2. \quad (5)$$

Задача (2) – (5) – прямая задача определения расхода по интегралу Дюамеля.

Для восстановления значений гамма-распределения  $\alpha$  и  $\beta$  по данным наблюдений решалась следующая задача на оптимизацию в смысле наименьших квадратов.

Пусть имеется набор наблюдений за расходом потока в некоторые моменты времени  $\{t_k\}_{k=1}^N$  во входном  $\{q(t_k)\}_{k=1}^N$  и выходном  $\{Q(t_k)\}_{k=1}^N$  створах. Определим параметры потока  $v$  и  $a$ , а, следовательно, и параметры гамма-распределения таким образом, чтобы доставлялся минимум функционалу:

$$\min_{v,a} \sum_{j=1}^N \left( \left( \sum_{i=1}^j q_i \int_{t_j-t_i-\Delta t}^{t_j-t_i+\Delta t} f(\tau) d\tau \right) - Q_j \right)^2. \quad (6)$$

Поскольку исследуемый бассейн в первые моменты времени еще не заполнен, прямой расчет по дискретному аналогу интеграла Дюамеля (2) в начале расчета всегда дает заниженный результат для первых нескольких моментов времени  $t_j$ . В результате первые несколько значений в функционале стоимости (6) будут давать большие ошибки и мешать оптимизации. В среднем можно ожидать удовлетворительных расчетов по формуле (6) только после  $t_K \approx L/v$  шага по времени. Отбросим в (6) первые  $K$  слагаемых, оценив среднюю скорость потока по предоставленным натурным данным. В этом случае функционал стоимости (6) примет следующий вид:

$$\min_{v,a} \sum_{j=K}^N \left( \left( \sum_{i=1}^j q_i \int_{t_j-t_i-\Delta t}^{t_j-t_i+\Delta t} f(\tau) d\tau \right) - Q_j \right)^2.$$

Для решения поставленной оптимизационной задачи был выбран генетический алгоритм – эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Алгоритм является разновидностью эволюционных вычислений, с помощью которых решаются оптимизационные задачи с использованием методов естественной эволюции, таких как наследование, мутации, отбор и скрещивание.

Выбор метода решения обуславливается несколькими причинами. Во-первых, генетические алгоритмы обладают хорошим потенциальным параллелизмом. Во-вторых, поскольку генетические алгоритмы используют только значения самой функции, то не требуют никакой дополнительной информации (возможных оврагах, локальных минимумах и пр.), а также информации о гладкости оптимизируемой функции. В-третьих, применение генетических алгоритмов в гидрологических задачах пока имеет слабое распространение, тогда как они предоставляют широкие возможности, особенно в сочетании с вычислительными мощностями кластеров.

В общем виде ход алгоритма выглядит следующим образом:

1. Инициализация.
2. Вычисление функции приспособленности.
3. Цикл по количеству поколений:
  - 3.1. генерация новой популяции;
  - 3.2. мутация;

### 3.3. вычисление функции приспособленности.

Генетические алгоритмы в ходе работы оперируют с хромосомами – бинарными строками, представляющими собой закодированные параметры оптимизации. Одна популяция состоит из большого числа хромосом, соответственно, необходимо в каждом поколении много раз вычислять целевую функцию, а поскольку эти вычисления друг от друга не зависят, то именно этот этап алгоритма очень хорошо параллелизуется. К тому же, именно этап вычисления функции приспособленности является самым ресурсоемким в алгоритме, что делает его распараллеливание еще более необходимым. Функция приспособленности показывает, насколько хорошо данный индивид отвечает поставленной цели оптимизационной задачи.

На этапе генерации новой популяции с помощью оператора селекции выбираются два индивида, которые будут участвовать в скрещивании – обмене бинарных составляющих родительских хромосом. Выбор двух индивидов основан на значениях функции приспособленности для родительского поколения. Таким образом, индивиды с большим значением функции приспособленности имеют большую вероятность принять участие в формировании новой популяции.

На этапе мутации каждый ген (бинарная составляющая) каждого индивида с какой-то определенной алгоритмом вероятностью мутирует – меняет свое значение на противоположное. Мутация вводит в популяцию некоторое разнообразие и предупреждает потери, которые могли бы произойти вследствие исключения какого-нибудь значимого гена в результате скрещивания. К тому же, мутация обеспечивает поиск новых экстремумов, что повышает надежность нахождения глобального экстремума.

Для численного эксперимента были выбраны данные по расходу воды в створе Иваньковской ГЭС (входной створ модели). В качестве замыкающего створа был выбран створ в 9,1 км ниже по течению. На рис. 1 отображен график расходов во входном створе специального попуска ГЭС, график наблюдаемых расходов в замыкающем створе и график расходов, рассчитанных по модели (3) после получения оптимизированных параметров гамма-распределения.

В расчетах  $K=6$ , из графика видно, что на первых шести шагах русло не заполнено и интеграл Дюамеля малоприспособлен для вычислений.

В работе были также оценены основные характеристики параллельной реализации генетического алгоритма оптимизации, который был реализован с помощью библиотеки MPI для языка Си. Расчеты проводились на кластере Института математики СФУ.

Ступенчатое поведение ускорения параллельного алгоритма объясняется его насыщаемостью. Этого можно избежать, перераспределив число поколений и количество особей в популяции. Влияние подобного перераспределения на конечный результат изучается в данный момент. Другой

возможностью является совместное использование технологий распараллеливания задач OpenMP и MPI. Этот вариант также находится на стадии рассмотрения и тестирования.

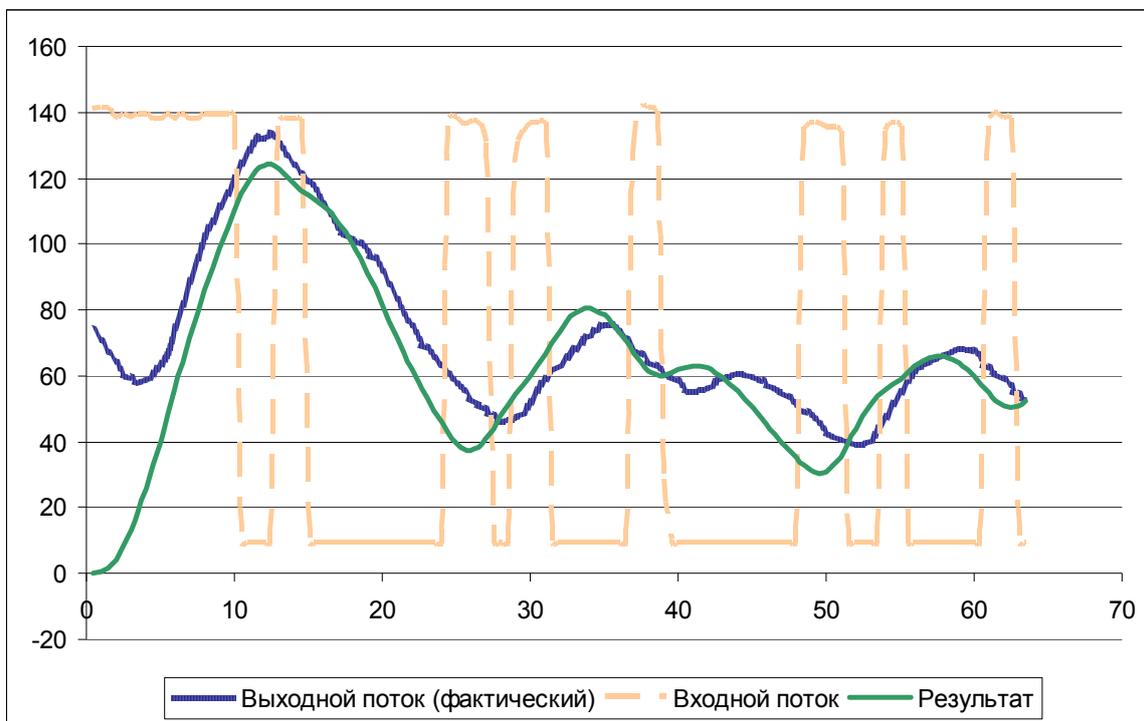


Рис. 1. Численный эксперимент по данным наблюдений на Ивановской ГЭС. По оси абсцисс отложено время в часах от начала специального пуска, по оси ординат – расход в  $m^3 / c$

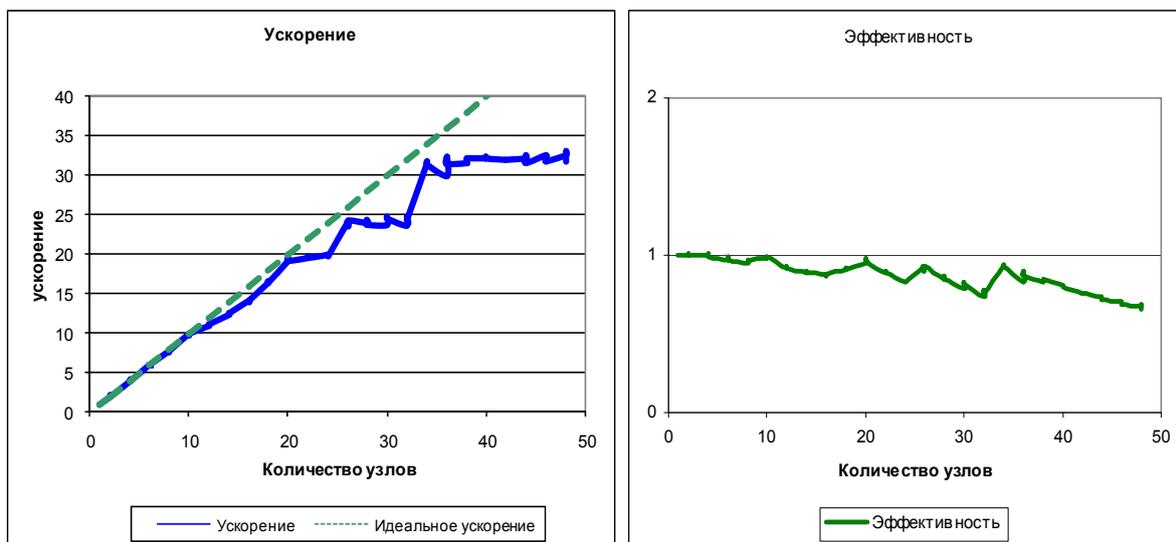


Рис. 2. Ускорение (слева) и эффективность (справа), полученные при расчетах на кластере ИМ СФУ

**ПОРОЖДАЮЩИЕ МНОЖЕСТВА ИНВОЛЮЦИЙ  
ЛИНЕЙНЫХ ГРУПП РАЗМЕРНОСТИ 2  
НАД КОЛЬЦОМ ЦЕЛЫХ ГАУССОВЫХ ЧИСЕЛ**

**И.А. Тимофеенко**  
**Научный руководитель Я.Н. Нужин**  
*Сибирский федеральный университет*

Установлено, что группа  $PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  порождается тремя инволюциями и не порождается тремя инволюциями, две из которых перестановочны.

**Ключевые слова:** кольцо целых гауссовых чисел, линейная группа, порождающие тройки инволюций.

**Постановка задачи**

Пусть  $GL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  – группа всех обратимых матриц размерности 2 над кольцом целых гауссовых чисел  $\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i$ , где  $i$ -корень из  $-1$ ,  $SL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  – её подгруппа матриц с определителем 1, а  $PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$ ,  $PSL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  – их фактор-группы по центру соответственно. В данной статье для линейных групп размерности 2 над кольцом целых гауссовых чисел рассматриваются следующие задачи:

А) Порождается ли данная группа тремя инволюциями?  $((2,2,2)$  – порождаемость)

Б) Порождается ли данная группа тремя инволюциями, две из которых перестановочны?  $((2 \times 2, 2)$  – порождаемость)

**1. Группа  $SL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$**

В группе  $SL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  – единственная инволюция

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix},$$

поэтому справедливо

**Предложение 1.1.** *Группа  $SL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  не порождается никаким множеством инволюций.*

**2. Группа  $GL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$**

В группе  $GL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  у любой инволюции определитель может быть равен только  $\pm 1$ . Но в  $GL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  есть матрица, определитель которой равен  $i$ , например,

$$\begin{pmatrix} i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Значит, справедливо

**Предложение 2.1.** *Группа  $GL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  не порождается никаким множеством инволюций.*

### 3. Группа $PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$

В следующих предложениях для элементов группы  $PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  используется матричная запись, при этом два элемента считаются равными, если они различаются лишь умножением на скалярную матрицу, (а нескалярная матрица является инволюцией, если её квадрат равен скалярной матрице).

**Предложение 3.1.** *Группа  $PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  порождается тремя инволюциями*

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\beta = \begin{pmatrix} 0 & i \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\gamma = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

**Лемма 3.2.** *Для любых трёх нецентральных элементов  $\alpha, \beta, \gamma$  из  $GL_2(\mathbb{C})$ , удовлетворяющих следующему условию:*

1)  $\alpha\beta = \beta\alpha$ ,

2) элементы  $\alpha^2, \beta^2, \gamma^2$  лежат в центре  $GL_2(\mathbb{C})$ ,

*справедливо равенство*

$$\alpha^{-1}\gamma\alpha = \beta^{-1}\gamma\beta. \tag{1}$$

**Лемма 3.3.** *Любая подгруппа  $M$ , порожденная тремя нецентральными инволюциями из группы  $PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  над кольцом целых гауссовых чисел  $\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i$ , две из которых перестановочны, имеет следующую структуру:*

$$M = \langle \gamma, \delta \rangle \cdot \langle \alpha, \beta \rangle, \quad (2)$$

где

$$\alpha^2 = \beta^2 = \gamma^2 = \delta^2 = (\alpha\beta)^2 = \alpha\gamma\alpha\delta = \beta\gamma\beta\delta = 1. \quad (3)$$

Более того, подгруппа  $\langle \gamma, \delta \rangle \triangleleft M$  и группа  $M$  либо конечна, либо  $M = \langle \gamma, \delta \rangle \langle \alpha, \beta \rangle$ .

**Предложение 3.4.** *Группа  $PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  не порождается тремя инволюциями, две из которых перестановочны.*

#### 4. Группа $PSL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$

**Предложение 4.1.** *Группа  $PSL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$  не порождается тремя инволюциями, две из которых перестановочны.*

#### 5. Заключение

Пусть  $G$  – одна из следующих групп:

$$GL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i), PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i), SL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i), PSL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i).$$

Тогда ответы на приведенные выше задачи для группы  $G$  указаны в табл. 1, где "+" означает положительное решение, "-" – отрицательное решение, "?" – ответ неизвестен.

**Таблица 1**

Задача	$GL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$	$PGL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$	$SL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$	$PSL_2(\mathbb{Z} + \mathbb{Z}i)$
(2, 2, 2)	–	+	–	?
(2 × 2, 2)	–	–	–	–

#### Список литературы

1. Нужин Я.Н. Порождающие тройки инволюций линейных групп размерности 2 над кольцом целых чисел / Я.Н. Нужин, И.А. Тимофеенко. – Владикавказский матем. журнал. – 2009. – С. 59–62.

2. Нужин Я.Н. Порождающие элементы групп лиева типа над конечным полем нечетной характеристики II / Я.Н. Нужин. – Алгебра и логика. – 1997. – № 4. – С. 422–440.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРОПИЧЕСКИХ ПОЛИНОМОВ ОТ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ

Н.А. Тубол

Научный руководитель А.К. Цих

*Физико-математическая школа*

*при Сибирском федеральном университете*

**Объект исследования:** тропический полином от двух переменных.

**Методы исследования:** анализ и аналогия.

**Основные понятия тропической арифметики.** Тропическая арифметика работает на множестве  $\mathbb{R}1 = \mathbb{R} \cup \{-\infty\}$ . Тропическое сложение двух чисел – максимум от двух чисел ( $x \oplus y = \max\{x, y\}$ ). Тропическое умножение двух чисел – сложение двух чисел ( $x \odot y = x + y$ ). Тропическое возведение в степень числа – это умножение показателя степени на число ( $x^{\odot n} = n * x$ ). (Определения действуют при  $x \in \mathbb{R}1$  и  $y \in \mathbb{R}1$ ). Тропический полином – тропическая запись обычного полинома. Общий вид тропического полинома с одной переменной-  $c \odot x_1^{\odot a_1} \oplus \dots \oplus x_n^{\odot a_n}$ . Аналогично выглядит общий вид тропического полинома с двумя и более переменными. Корень тропического полинома – это излом на графике тропического полинома.

**Расположение графиков тропических полиномов от двух переменных.** При исследовании тропических полиномов от двух переменных первой степени выяснилось то, что график любого тропического многочлена от двух переменных первой степени лежит в пространстве, определяемым осями  $OX$ ,  $OY$  и  $OC$  ( $C$ - любое число, принадлежащее  $\mathbb{R}1$ ). А так как со следующей степени этих тропических полиномов по определению увеличивается только количество слагаемых и множитель  $y$  переменных  $x$  и  $y$ , то все графики тропических полиномов от двух переменных лежат в пространстве, определяемым осями  $OX$ ,  $OY$  и  $OC$  ( $C$ - любое число, принадлежащее  $\mathbb{R}1$ ).

**Исследование тропических полиномов от двух переменных первой степени.** Сначала я исследовал полином  $x \oplus y \oplus 1 = \max\{x, y, 1\}$  и сделал такой вывод: если  $x \geq y$  то при  $x > 1$   $\max\{x, y, 1\} = x$ , а также при  $x \leq 1$   $\max\{x, y, 1\} = 1$ ; а если  $x < y$  то при  $x \in (-\infty, \infty)$   $\max\{x, y, 1\} = y$ . Потом я исследовал полином  $x \oplus y \oplus c = \max\{x, y, c\}$  и сделал аналогичный вывод: если  $x \geq y$  то при  $x > c$   $\max\{x, y, c\} = x$ , а также при  $x \leq c$   $\max\{x, y, c\} = 1$ ; а если  $x < y$  то при  $x \in (-\infty, \infty)$   $\max\{x, y, c\} = y$ . Позже я исследовал полином  $2 \odot x \oplus 2 \odot y \oplus 1 = \max\{2+x, 2+y, 1\}$  и сделал следующий вывод: если  $x \geq y$  то

при  $x \geq 1$   $\max \{2+x, 2+y, 1\} = 2+x$ , а также при  $x < 1$   $\max \{2+x, 2+y, 1\} = 1$ ; а если  $x < y$  то при  $x \in (-\infty, \infty)$   $\max \{2+x, 2+y, 1\} = 2+y$ . Затем я исследовал полином  $2 \odot x \oplus 2 \odot y \oplus c = \max \{2+x, 2+y, c\}$  и сделал аналогичный вывод: если  $x \geq y$  то при  $x > c$   $\max \{2+x, 2+y, c\} = 2+x$ , а также при  $x \leq c$   $\max \{2+x, 2+y, c\} = c$ ; а если  $x < y$  то при  $x \in (-\infty, \infty)$   $\max \{2+x, 2+y, c\} = 2+y$ . Дальше я исследовал полином  $a \odot x \oplus b \odot y \oplus 1 = \max \{a+x, b+y, 1\}$  и сделал следующий вывод: если  $a \geq b$  то при условии  $x \geq y$  и  $x \geq 1$   $\max \{a+x, b+y, 1\} = a+x$ , а при  $x < 1$   $\max \{a+x, b+y, 1\} = 1$ , а при условии  $x < y$  и  $x \in (-\infty, \infty)$   $\max \{a+x, b+y, 1\} = b+y$ ; а если  $a < b$  то при условии  $x > y$  и  $x \geq 1$   $\max \{a+x, b+y, 1\} = a+x$ , а при  $x < 1$   $\max \{a+x, b+y, 1\} = 1$ ; а при условии  $x \leq y$  и  $x \geq 1$   $\max \{a+x, b+y, 1\} = b+y$ , а при  $x < 1$   $\max \{a+x, b+y, 1\} = 1$ . В конце концов я исследовал полином  $a \odot x \oplus b \odot y \oplus c = \max \{a+x, b+y, c\}$  и сделал аналогичный вывод: если  $a \geq b$  то при условии  $x \geq y$  и  $x \geq c$   $\max \{a+x, b+y, c\} = a+x$ , а при  $x < c$   $\max \{a+x, b+y, c\} = c$ , а при условии  $x < y$  и  $x \in (-\infty, \infty)$   $\max \{a+x, b+y, c\} = b+y$ ; а если  $a < b$  то при условии  $x > y$  и  $x \geq c$   $\max \{a+x, b+y, c\} = a+x$ , а при  $x < c$   $\max \{a+x, b+y, c\} = c$ ; а при условии  $x \leq y$  и  $x \geq c$   $\max \{a+x, b+y, c\} = b+y$ , а при  $x < c$   $\max \{a+x, b+y, c\} = c$ .

**Дальнейшие цели:** исследование тропических полиномов от двух переменных второй и последующих степеней, сформулировать и доказать тропическую версию основной теоремы алгебры для тропических полиномов от двух переменных.

**Область применения тропических полиномов от двух переменных:** они могут быть применены в тех областях, где используются полиномы от двух переменных в качестве математической модели и где поможет упрощение полиномов от двух переменных.

УДК 519.87

## О САМОНАСТРОЙКЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

**Д.И. Хритonenko**

**Научный руководитель Е.С. Семенкин**

*Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. акад. М. Ф. Решетнева*

*Рассматривается самонастройка генетического алгоритма для решения задачи однокритериальной безусловной оптимизации. Разработанная программа протестирована на ряде задач и сравнивается с базовым алгоритмом.*

При решении задач с помощью генетических алгоритмов (ГА) возникает проблема выбора их параметров. Для каждой решаемой задачи существует свой, оптимальный в некотором смысле набор параметров (по времени работы, числу вычислений целевой функции и т.д.), который в свою очередь может изменяться во время работы алгоритма. Разумеется, изначально ни набор этих параметров, ни закон их изменения (если он вообще существует) неизвестен. Таким образом, перед нами ставится задача в отыскании этих неизвестных параметров с целью увеличения производительности программы.

В данной работе настройка параметров будет производиться на основе работы А.С. Мясникова: «Островной генетический алгоритм с динамическим распределением вероятностей выбора генетических операторов».

Выделим 3 группы (острова) операторов у ГА: селекции, скрещивания, мутации. Каждая группа представляет собой набор следующих операторов.

**Таблица 1.** Разбиение операторов ГА по группам

Группы операторов	Селекция	Скрещивание	Мутация
Операторы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Пропорциональная</li> <li>• Ранговая</li> <li>• Турнирная</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Одноточечное</li> <li>• Двухточечное</li> <li>• Равномерное</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Слабая</li> <li>• Средняя</li> <li>• Сильная</li> </ul>

Внутри каждой группы операторы будут конкурировать за возможность использования на следующей итерации алгоритма.

Введем понятие прогрессивной хромосомы. *Прогрессивная хромосома* – хромосома, которая превосходит по пригодности среднее значение пригодности в текущей популяции. Необходимо также сделать утверждение: количество прогрессивных хромосом, полученных при помощи оператора селекции, равно суммарному числу прогрессивных хромосом, полученных при проведении скрещивания и мутации. Вероятность выбора оператора внутри группы будет высчитываться следующим образом:

$$P_i = \frac{q_i}{\sum_j q_j},$$

где  $q_i$  – число прогрессивных хромосом, полученных при помощи  $i$ -го оператора. При работе алгоритма на каждой итерации работает лишь один набор генетических операторов. Поэтому необходимо некоторое число итераций для накопления выборки, на основании которой будут пересчитаны вероятности.

Тестирование разработанной программы проводилось на ряде задач для следующих размерностей: 2,3,5,10,20,40. Для тестирования и получения результатов использовалась программа (которая поддерживается разработчиками и в настоящее время), предоставленная с того же сайта, где находятся данный набор тестовых задач и результаты тестирования других алгоритмов, что исключает неверное представление результатов. Результаты тестирования, а также сравнения с базовым алгоритмом (Simple GA) и методом Монте-Карло представлены ниже.

**Таблица 2.** Результаты тестирования алгоритмов для точности 0.1

Алгоритм	Размерность:	2D	3D	5D	10D	20D	40D
	<i>Островной ГА</i>	147	278	504	887	5651	12000
	Simple GA	556	1903	2160	1704	18336	18425
	Monte Carlo	3550	439674	361942	N/A	N/A	N/A

**Таблица 3.** Результаты тестирования алгоритмов для точности 0.001

Алгоритм	Размерность:	2D	3D	5D	10D	20D	40D
	<i>Островной ГА</i>	380	1380	2695	5543	9728	10390
	Simple GA	3032	2108	2912	6052	15300	21160
	Monte Carlo	35418	243174	N/A	N/A	N/A	N/A

Критерий эффективности:

$$I = \frac{ERT}{ERT_{best}}$$

Здесь  $ERT$  – число вычислений целевой функции для достижения заданной точности (по значению этой целевой функции);  $ERT_{best}$  – соответственно лучшее число вычислений целевой функции, которое предоставляется программой. В данной работе проводилось усреднение критерия эффективности по всем функциям (их количество – 24). Стоит заметить, что предложенный модифицированный ГА выигрывает на большинстве тестовых задач у базового алгоритма – Simple GA, а, следовательно, данную модификацию можно считать успешной.

Предложенный подход не позволяет настраивать такие параметры, как *размер популяции*, *размер турнира* и т.д. В дальнейшем планируется перенос данного подхода на алгоритм генетического программирования, эффективность которого будет оценена на ряде задач классификации.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

**И.А. Шефер**

**Научный руководитель Е.С. Семенкин**

*Сибирский федеральный университет*

Генетические алгоритмы (ГА) – механизм, который, имитируя эволюционные процессы, позволяет решать задачи оптимизации различного рода. Так как в практических задачах часто приходится иметь дело с наличием ограничений, наложенных на значения переменных, то представляет интерес изучение и сравнение методов учета этих ограничений, используемых в ГА.

Сформулируем задачу условной оптимизации в общем виде:

$$\begin{aligned} f(x) &\rightarrow \text{extr} \\ \left\{ \begin{array}{l} g_j(x) \leq 0, j = \overline{1, r} \\ h_j(x) = 0, j = \overline{r+1, m} \end{array} \right. \end{aligned}$$

Далее, рассмотрим основные методы учета ограничений, которые используются в генетических алгоритмах.

Одним из наиболее распространенных подходов является метод штрафных функций, основная идея которого заключается в том, что пригодность индивида вычисляется не только в зависимости от соответствующего ему значения целевой функции, но и от меры нарушения ограничений:

$$\text{fitness}(x) = f(x) + \delta \cdot \lambda(t) \cdot \sum_{j=1}^m f_j^\beta(x),$$

где  $t$  – номер текущего поколения;  $\delta = 1$ , если решается задача минимизации;  $\delta = -1$ , если решается задача максимизации;  $f_j(x)$  – штраф за нарушение  $j$ -го ограничения;  $\beta$  – вещественное число. Штрафные функции  $f_j(x)$  вычисляются по формуле:

$$f_j(x) = \begin{cases} \max\{0, g_j(x)\}, j = \overline{1, r} \\ |h_j(x)|, j = \overline{r+1, m} \end{cases} \dots$$

Так, в статических штрафах полагают, что  $\lambda(t) = 1, \beta = 2$ . Далее в работе этот метод не рассматривается.

В динамических штрафах  $\lambda(t) = (C * t)^\alpha$ . Таким образом, для этого метода требуется задать значение трех параметров, что в общем случае усложняет задачу. Однако авторы этого метода дают рекомендации, что зачастую оптимальными значениями будут  $C = 0.5, \alpha = \beta = 2$ .

Адаптивные штрафы являются развитием метода динамических штрафов. В данном подходе учитывается количество попаданий лучшего индивида популяции в допустимую область:

$$\lambda(t+1) = \begin{cases} \frac{\lambda(t)}{\beta_1}, \vec{b}^i \in D \quad \forall i: t-k+1 \leq i \leq t \\ \lambda(t) * \beta_2, \vec{b}^i \notin D \quad \forall i: t-k+1 \leq i \leq t \\ \lambda(t) \end{cases}$$

Здесь  $D$  – допустимая область;  $k$  – количество поколений, которые учитываются при вычислении штрафа;  $\beta_2, \beta_1 > 1, \beta_2 \neq \beta_1$  – действительные числа;  $\vec{b}^i$  – лучший индивид популяции на  $i$ -ом поколении.

В данном методе на шаге  $t+1$  происходит уменьшение штрафа, если на протяжении  $k$  поколений лучший индивид попадал в допустимую область. Если же он все время нарушал ограничения, то величина штрафа увеличивается.

Так же существует метод «лечения» недопустимых, т.е. нарушающих ограничения индивидов с помощью локального поиска. Для этого для каждого недопустимого индивида  $p$  в дочерней популяции случайным образом выбирается допустимый индивид  $q$  из родительской популяции. Затем у индивида  $p$  начинают изменять генотип в соответствии с генотипом индивида  $q$  до тех пор, пока он не начнет удовлетворять ограничениям. Настраиваемым параметром данного метода является процент недопустимых индивидов, которые будут подвергнуты «лечению».

Сравнение указанных подходов проводилось на 5 тестовых задачах. Для каждой из них проводилось 50 запусков каждого из 90 вариантов ГА с одним из трех методов учета ограничений, описанных выше. Для каждого алгоритма были вычислены такие значения, как надежность (отношение удачных запусков ко всем) и среднее поколение, когда было найдено решение. При сравнении выбирается алгоритм с лучшей надежностью либо, если они одинаковы, выбирается тот, у кого среднее поколение меньше. В приведенных ниже таблицах указаны лучшие и средние результаты по каждому из трех методов

Лучшие показатели	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Динамические штрафы	78	100	100	10	100
	70	83	74	224	59
Адаптивные штрафы	100	100	100	28	100
	67	37	34	190	56
«Лечение»	100	100	100	100	100
	35	44	62	165	14

Средняя надежность	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5
Динамические штрафы	33,28	31,75	29,95	1,75	74,46
Адаптивные штрафы	54,08	84,88	77,4	2,62	69,46
«Лечение»	91,8	80,55	58,82	25,24	94,33

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Среди штрафных методов предпочтение как по лучшим, так и по средним показателям отдается методу адаптивных штрафов.

2. Метод «лечения» показывает результаты, сравнимые с методом адаптивных штрафов, однако требует больше вычислительных затрат ввиду положенной в его основу идеи.

Так же следует отметить, что метод «лечения» можно использовать в качестве вспомогательного в паре с одним из штрафных. Что касается собственно штрафных методов, то дальнейшие исследования в этой области связаны с разработкой подходов, не требующих настройки со стороны пользователя.

Приложение. Список тестовых задач.

Задача 1

$$f = 10x - 5y \rightarrow \max$$

$$x \in [0; 4], y \in [-10; 0]$$

$$\begin{cases} y - 15 \leq 0 \\ y + 2x^2 - 20 \leq 0 \\ -x^2 - 2y \leq 0 \end{cases}$$

$$x^* = 3,651483, y^* = -6, (6), f^* = 69,8481705$$

Задача 2

$$f = x^2 + y^2 \rightarrow \max$$

$$x \in [0; 4], y \in [0; 8]$$

$$\begin{cases} y - 7 - \sin(2x) \leq 0 \\ 1 - \sin(2x) - y \leq 0 \end{cases}$$

$$x^* = 4, \quad y^* = 7,989358, \quad f^* = 79,82984$$

Задача 3

$$f = 5x + 0.5y \rightarrow \max$$

$$x \in [0; 2.5], y \in [0; 4]$$

$$\begin{cases} y + 2x - 5 \leq 0 \\ x - 1.5 - y \leq 0 \\ y - 2x - 1 \leq 0 \end{cases}$$

$$x^* = 2,16(6), \quad y^* = 0.(6), \quad f^* = 11,1(6)$$

Задача 4

$$f = (x - 10)^3 + (y - 20)^3 \rightarrow \min$$

$$x \in [13; 100], y \in [0; 100]$$

$$\begin{cases} -(x - 5)^2 - (y - 5)^2 + 100 \leq 0 \\ (x - 6)^2 + (y - 5)^2 - 82.81 \leq 0 \end{cases}$$

$$x^* = 14,094999, \quad y^* = 0,8429607, \quad f^* = -6961,813875$$

Задача 5

$$f = -\frac{\sin^3(2\pi x)\sin(2\pi y)}{x^3(x+y)} \rightarrow \min$$

$$x \in [0; 10], y \in [0; 10]$$

$$\begin{cases} x^2 - y + 1 \leq 0 \\ 1 - x + (y - 4)^2 \leq 0 \end{cases}$$

$$x^* = 1,227971, \quad y^* 4,2453733, \quad f^* = -0,09582504$$

# ФИЗИКА

УДК 536.24

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В КАНАЛАХ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ С ЗАКРУЧЕННЫМ ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ

**О.В. Бурова**

**Научный руководитель А.В. Минаков**

*Сибирский федеральный университет*

Быстрое развитие малогабаритных электромеханических систем (MEMS) и устройств, обеспечивающих мобильность и связь современного человека, нуждается в особых требованиях от источников питания. Мезомасштабная и микромасштабная камера сгорания рассматривается как потенциальное решение для многих энергопотребляющих систем, таких как источники питания для портативных устройств и двигатели малых транспортных средств.

Среди других систем преобразования энергии, система на основе термофотопреобразователей (TPV) является практическим и осуществимым подходом к непосредственному преобразованию энергии излучения в электрическую энергию. Благодаря высокой плотности энергии сжиженных углеводородов (~50 МДж/кг), система TPV способна конкурировать с современными литиевыми аккумуляторами (~0.6 МДж/кг).

Следует указать, что существующие на настоящее время разработки в данной области не имеют законченного характера, позволяющего изготавливать реально работающие малогабаритные источники питания. Причиной этого является наличие серьезных принципиальных трудностей, возникающих при переходе к малоразмерным камерам сгорания, а именно:

1. Увеличение отношения площадь/объем приводит к повышенным тепловым потерям на стенках камеры сгорания, соответственно, к затуханию пламени.

2. Небольшие размеры предполагают короткое время пребывания и плохое перемешивание топлива и окислителя, соответственно, низкую полноту выгорания топлива.

3. Повышение удельной мощности приводит к повышенной теплонапряженности стенок камеры, что накладывает требования к использованию особых термостойких материалов.

4. Проблема контроля выброса вредных примесей особенно важна, если речь идет об источниках питания для персональных устройств, работающих в непосредственной близости от человека.

5. С уменьшением размеров происходит уменьшение КПД устройства.

6. Трудность получения объективной экспериментальной информации о процессах, происходящих в узких каналах.

Требования к альтернативным системам генерации электроэнергии растут, в то время как улучшения в технологии аккумуляторов приближаются к пределу. Плотность энергии углеводородного и водородного топлив превышает аналогичный показатель ионно-литиевая батарей [1]. Вследствие чего последние исследования направлены на разработку компактных систем генерации электроэнергии, основанные на горении вышеупомянутых углеводородных и водородных топлив.

Основной показатель таких устройств, а именно удельная мощность и запас энергии на единицу веса для миниатюрных термохимических источников, может более чем на два порядка превышать аналогичный показатель для электрохимических источников, в частности, традиционных батарей и современных топливных элементов.

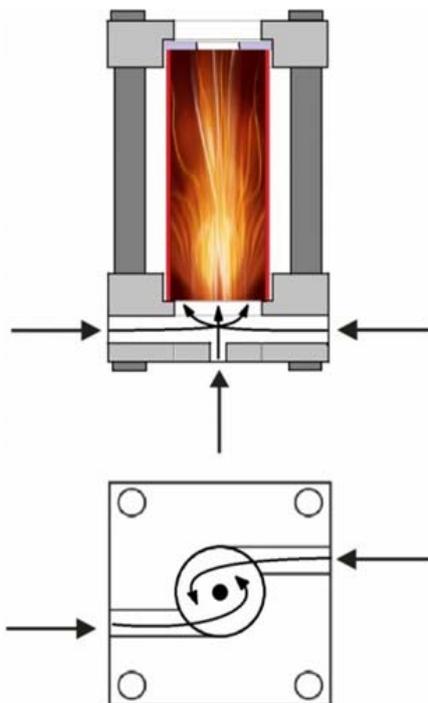
Концепция применения микрокамер сгорания основана на том, что мощность на единицу расхода смеси топливо-окислитель определяется скоростью реакции горения, которая в свою очередь определяется скоростью химической реакции, которая не зависит от размера. Удельная мощность камеры сгорания должна увеличиваться при уменьшении размера, поскольку мощность на единицу расхода смеси уменьшается пропорционально площади, при этом вес устройства – пропорционально объему. Из данного закона следует, что удельная мощность камеры сгорания должна линейно расти с уменьшением размера [1]. Этот факт является мотивацией для исследований, направленных на развитие микрокамер сгорания.

Также стоит упомянуть, что существующие на настоящее время разработки в данной области не имеют законченного характера, позволяющие производство реально работающего малогабаритного источника питания. Причина этого – наличие серьезных принципиальных трудностей, возникающих при переходе к мелкомасштабным камерам сгорания.

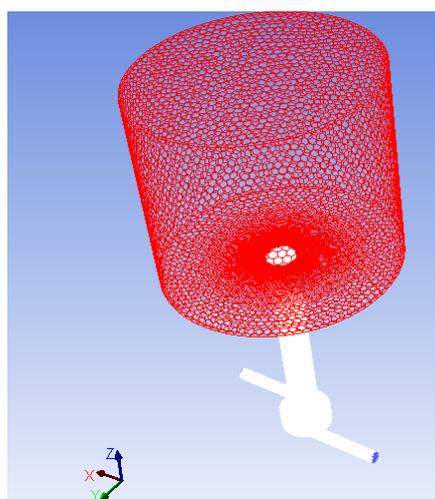
К основной проблеме, препятствующей организации устойчивого сжигания в камерах малого масштаба, следует отнести проблему высоких теплотерь из пламени. Одним из эффективных способов преодоления этой проблемы является повышение температуры стенок камеры сгорания за счет рециркуляции тепла.

В данной работе была выбрана цилиндрическая геометрия в качестве модельного рабочего участка для исследования процессов горения в миниатюрных камерах сгорания, что считается оправданным как с научной

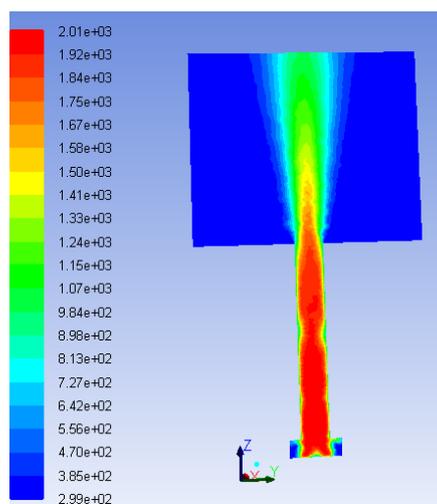
точки зрения, поскольку позволит сравнение полученных данных с имеющимися в литературе результатами математического и экспериментального моделирования [2], так и с точки зрения возможностей непосредственного приложения полученных результатов к практическим устройствам, например, систем ТРВ [3], по данной работе также был проведен ряд экспериментов, что и легло в основу исследования.



*Рис. 1. Схема горелочного устройства с тангенциальным завихрителем*



*Рис. 2. Геометрия и сетка, использованная при моделировании задачи*



*Рис. 3. Распределение пламени по длине горелки*

Относительно характерных масштабов микрокамер сгорания в литературе нет единой классификации микрогенераторов электричества по характерным размерам и мощности. Характерные размеры в пределах 1-2 см для микрокамеры сгорания и соответствующая им характерная мощность относятся к промежуточному диапазону между крупномасштабными промышленными и лабораторными горелками и устройствами субмиллиметрового масштаба, для которых строго говоря применим термин «микро». Горелочные устройства сантиметрового размера или мезомасштаба используются, с одной стороны, поскольку портативные источники питания этого масштаба имеют свою область практического применения; с другой стороны, экспериментальное исследование процессов горения в каналах сантиметрового диапазона представляется гораздо более доступным, что дает возможность получения детальной информации о внутренней структуре реагирующего течения.

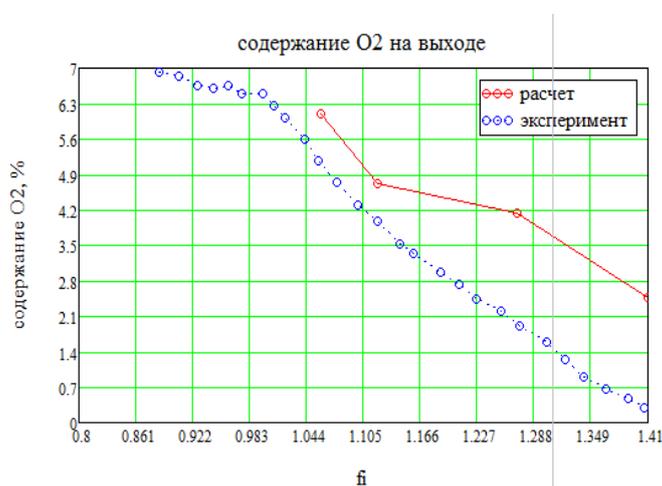


Рис. 4. Содержание кислорода в зависимости от расходов пропана и воздуха

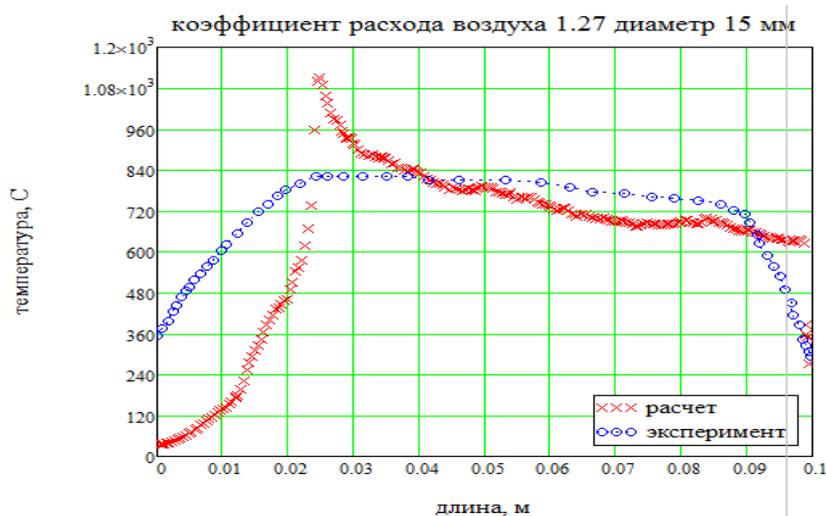


Рис. 5. Распределение температуры по стенке горелки

На сегодняшний день существует огромное количество моделей горения. С целью тестирования и адаптации модели горения в данной работе проведено численное моделирование закрученного турбулентного пламени.

Моделирование проведено при помощи пакета программ Fluent. Для расчета использовалась SST модель турбулентности и EDC модель горения. Рабочая сетка порядка 100000 узлов (рис. 2). Результаты численного моделирования сопоставимы с данными натурного эксперимента, проведенного в Институте Теплофизики СО РАН в лаборатории С. И. Шторка.

Пример распределения пламени по длине горелки представлен на рис. 3. На рис. 4 показано содержание кислорода для трубки диаметром 15 мм и расхода пропана 0.075 л/мин, а на рис. 5 – распределение температуры по стенке горелки в расчете и в эксперименте, наблюдается хорошее согласование с экспериментом.

### **Список литературы**

1. Dunn-Rankin D., Leal E.M., Walther D.C. Personal power systems // Prog. Energy Combust. Sc. – 2005. – Vol. 31. – P. 422-465.
2. Choi B., Han Y., Kim M., Hwang C., Oh C. B. Experimental and numerical studies of mixing and flame stability in a micro-cyclone combustor // Chemical Engineering Science, 2009, Vol. 64, pp. 5276–5286.
3. Yang W., Chou S., Shu C., Xue H., and Li Z. Research on micro-thermophotovoltaic power generators with different emitting materials // J. Microtech. Microeng. – 2005. Vol. 15. – P. S239–S242.

УДК 539.2

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КРИСТАЛЛОВ $\text{SrB}_4\text{O}_7$**

**Н.Ю. Игнатова**

**Научный руководитель А.А. Кузубов**

*Сибирский федеральный университет*

Тетраборат стронция  $\text{SrB}_4\text{O}_7$  (SBO) известен как перспективный нелинейно-оптический материал с высокой механической прочностью (9 по Моосу) и низкой гигроскопичностью [1]. Согласно оценкам, SBO может быть сопоставим по нелинейной оптической восприимчивости КТР кристаллам [2], которые, однако, являются неподходящими при длинах волн

короче 350 нм. Одним из важнейших свойств кристаллов SBO является их высокая прозрачность в длинах волны от ИК до УФ области спектра, вплоть до 130 нм. Ранее прозрачность кристалла тетрабората стронция измерена в ИК и УФ спектрах с  $\lambda \sim 120-4000$  нм [1,3]. Однако полученные экспериментально в [1,3] спектры пропускания имеют ряд разногласий.

Получение этого соединения осложняется склонностью расплава к стеклованию и сложным видом фазовой диаграммы, что затрудняет исследование его свойств. Одним из способов исследования и подтверждения свойств тетрабората стронция как перспективного материала для использования в высокоэнергетических лазерах являются квантово-химические методы.

Цель данной работы – теоретическое исследование структуры и свойств кристалла  $\text{SrB}_4\text{O}_7$ . Для полной структурной оптимизации и расчета зонных спектров был применен метод псевдопотенциала с использованием пакета программ VASP. Учет обменно-корреляционного взаимодействия проводился с использованием обобщенного градиентного приближения (GGA). Для более правильного описания электронных свойств расчеты были проведены с использованием гибридного функционала HSE03 [4], который гораздо лучше описывает энергетику периодических тел и молекул, по сравнению с PBE (GGA). Интегрирование по зоне Бриллюэна проводили с помощью метода тетраэдров на сетке точек с набором  $10 \times 10 \times 6$ . Для расчетов с гибридным функционалом ввиду длительности и сложности расчетов использовали уменьшенную сетку  $6 \times 6 \times 2$ .

Оптимизированные параметры элементарной ячейки, а также экспериментальные параметры, определенные авторами работы [3] представлены в табл. 1. На рис. 1 представлена суперячейка орторомбической фазы  $\text{SrB}_4\text{O}_7$ .

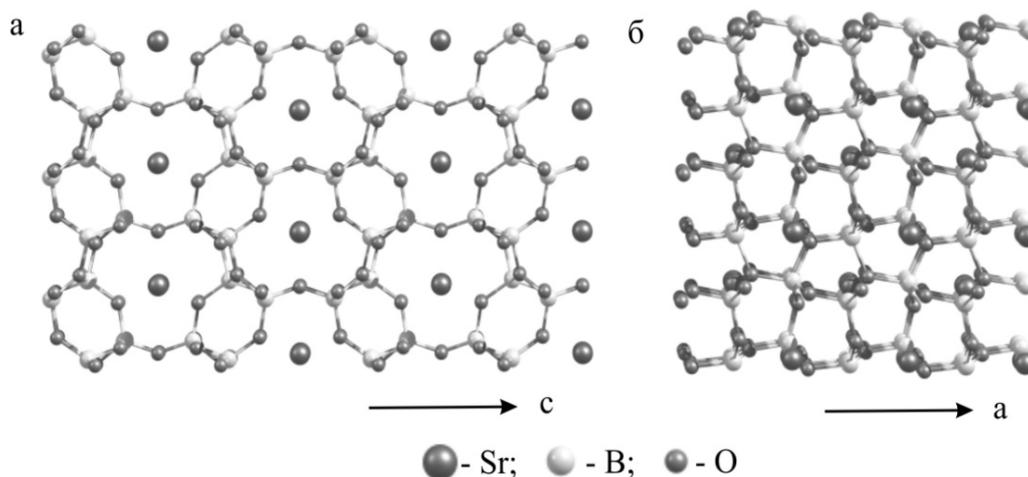


Рис. 4. Суперячейка орторомбической фазы SBO ( $3 \times 3 \times 2$ ):  
*a* – вид в плоскости  $bc$ ; *б* – вид в плоскости  $ab$

**Таблица 1.** Экспериментальные и расчетные параметры элементарной ячейки SBO

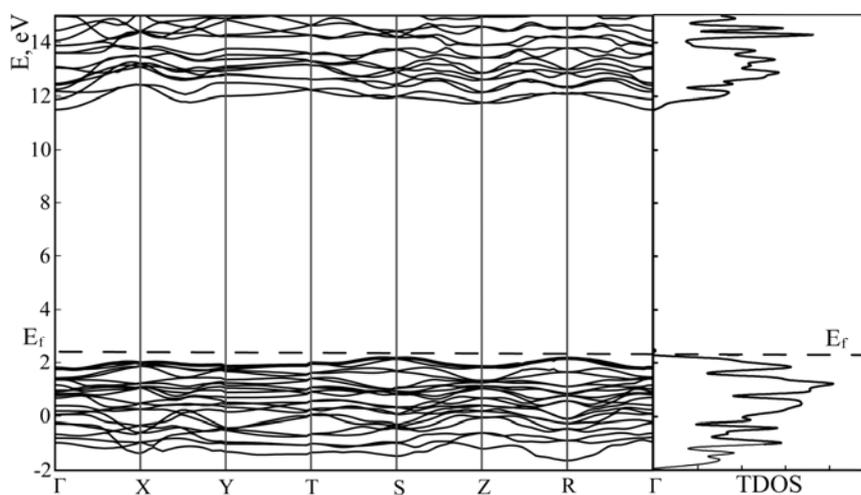
Параметр решетки	Функционал PBE		Функционал HSE		Экспериментальный
	$l, \text{Å}$	$\varepsilon, \%$	$l, \text{Å}$	$\varepsilon, \%$	
a, Å	4,234	0,12	4,166	1,02	4,239
b, Å	4,428	0,43	4,388	1,33	4,447
c, Å	10,730	0,06	10,633	0,84	10,724

Полученные параметры решетки (длина векторов трансляции  $l, \text{Å}$ ) a, b и c были сопоставлены с экспериментальными данными из работы [1,3], вычислены погрешности  $\varepsilon, \%$  относительно эксперимента.

Относительные погрешности при расчетах оптимальной геометрии PBE функционалом – менее одного процента, функционалом HSE – менее двух процентов. Значения погрешностей приведены выше в табл. 1.

Для выявления особенностей электронного строения проводили расчет зонной структуры и плотностей состояния. В настоящей работе зонная структура SBO рассчитана двумя методами: DFT с потенциалом PBE и с гибридным (HSE03) обменно-корреляционным потенциалом, однако расчеты с гибридным функционалом показывают более точные результаты при определении энергии молекул и в описании ширины запрещенной зоны.

Рассчитанная зонная структура и плотности состояния для SBO функционалом HSE03 представлена на рис. 2.



*Рис. 2. Зонная структура и полные плотности состояний SBO, рассчитанные с использованием функционала HSE03*

Согласно проведенным расчетам с функционалом HSE SrB4O7 – непрямозонный диэлектрик. Щель в области прямого перехода в точке S – 9,833 эВ. Верх валентной зоны находится в точке S, минимум зоны проводимости в  $\Gamma$  с энергией непрямого перехода 9,338 эВ.

Для оценки вкладов отдельных атомов рассчитаны парциальные плотности состояния функционалом HSE. Согласно полученным парциальным плотностям состояний валентная зона представлена вкладами 2p орбиталей кислорода. В вакантные состояния основной вклад имеют 2p орбитали бора и небольшой вклад орбиталей стронция. Эти результаты – прямое следствие структуры  $\text{SrB}_4\text{O}_7$ , которая построена из бор-кислородной сетки, в каналах которой расположен стронций. Проводя анализ парциальных плотностей, можно сделать вывод, что группы  $\text{BO}_4$  и связи Sr – O отвечают за переходы, которые способствуют поглощению в видимой и ультрафиолетовой области спектра.

### Список литературы

1. Pan F., Chen G., Wang R., Cryst J. Growth. 241, 108 (2002).
2. Zaitsev I., Aleksandrovskii A. S., A. V. Zamkov. Inorganic Materials, 42, 1360 (2006).
3. Oseledchik Yu. S., Prosvirnin A. L., Pisarevskiy A. I. Opt. Mater, 4, 669 (1995).
4. Marsam M. Paier J., Stroppa A., Kress G., Phys J. Condens. Matter, 20, 064201 (2008).

УДК 537.6

## ВЛИЯНИЕ ФРУСТРИРУЮЩИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ОКСИБОРАТОВ

**Ю.В. Князев**

**Научный руководитель Н.Б. Иванова**

*Сибирский федеральный университет*

Возросший интерес к оксиборатам привёл к детальному изучению их структурных, транспортных и магнитных свойств. Наибольший интерес вызывают магнитные свойства указанных материалов, среди которых наиболее примечательными является необычайно сильная магнитная анизотропия и значительные фрустрирующие взаимодействия магнитных ионов. В последнее время попытки объяснить экспериментально обнаруженные феномены позволили исследователям создать целый ряд гетерометаллических образцов с различным замещением ионов кобальта, как на магнитные, так и немагнитные ионы. Эти кристаллы проявляют отличные от родительского образца магнитные свойства.

Мы считаем, что основные причины указанных фактов находятся в особом построении магнитных подрешёток в образцах, что безусловно отражается на обменных взаимодействиях в них. Поэтому в данной работе были предприняты попытки объяснения динамики изменения магнитных свойств с помощью аналитического метода расчёта косвенных обменных взаимодействий в образцах, среди которых родительский состав  $\text{Co}_3\text{VO}_5$ , и дочерние, допированные переходными химическими элементами, а именно  $\text{Co}_{1,7}\text{Mn}_{1,3}\text{VO}_5$ ,  $\text{Co}_{2,38}\text{Ga}_{0,62}\text{VO}_5$ ,  $\text{Co}_{2,88}\text{Cu}_{0,12}\text{O}_2\text{VO}_3$ , кристаллическая структура, которых была детально разрешена с помощью рентгеновской дифракции в наших работах ранее.

Как показали результаты рентгеновской дифракции, все образцы имеют четыре неэквивалентные позиции, ответственные, по-видимому, за особенности в магнитных свойствах.

**Таблица 1.** Температура магнитного упорядочения образцов

№	1	2	3	4
Образец	$\text{Co}_3\text{VO}_5$	$\text{Co}_{1,7}\text{Mn}_{1,3}\text{VO}_5$	$\text{Co}_{2,88}\text{Cu}_{0,12}\text{O}_2\text{VO}_3$	$\text{Co}_{2,38}\text{Ga}_{0,62}\text{VO}_5$
Доля замещения, %	0,0	43,3	4,0	20,7
$T_N$ , К	43	41	43	36

Отметим, что температуры Нееля для указанных соединений несомненно зависят от состава. Однако равенство температур упорядочения родительского состава и образца с медью что для образца 3 объясняется малой долей замещения допируемого элемента.

Теперь обратимся непосредственно к расчёту обменных взаимодействий, разработанному в Институте физики СО РАН (г. Красноярск). Метод предполагает разделение интра- и интератомных взаимодействий со своими характеристиками. Немаловажным является определение знака обменного взаимодействия. Эта модель позволяет рассчитать обменные интегралы косвенной связи ионов через промежуточный лиганд. При этом необходимо учитывать заселённость индивидуальных орбиталей, которая определяет возможность обмена катион-лиганд-катион. Знак косвенного обменного взаимодействия также определяется заселённостью орбиталей.

Если взаимодействие происходит через две однократно занятые орбитали, то обменное взаимодействие носит антиферромагнитный характер, электрон в этом случае возбуждается на «соседний» катион, для определения интеграла взаимодействия в этом случае пользуются энергией электронного возбуждения кислород-катион. В то время как двукратно занятая или пустая орбиталь и однократно занятая взаимодействуют ферромагнитно, и возбуждение электрона происходит на более высокий уровень, поэтому используется интеграл внутриатомного обмена.

Интеграл внутриатомного обмена представляет собой разность энергий основного состояния и первого возбужденного состояния терма, для которого один из электронов изменил направление спина на противоположное. Он определяется экспериментально из оптических спектров или рассчитывается из параметров Рака.

В результате расчёта с использованием среды программы MathCAD были получены следующие значения интеграла обменного взаимодействия. Значения обменных интегралов в кельвинах представлены в табл. 2. Стрелками условно показано направление магнитных моментов. Жирным шрифтом выделены фрустрирующие взаимодействия в образце, влияющие на установление магнитного порядка.

Анализируя знаки и соотношение величин межподрешеточных взаимодействий видим, что число магнитных подрешеток совпадает с числом кристаллографических неэквивалентных позиций. То есть родительский состав в магнитном отношении является четырехподрешеточным магнетиком.

В таблицах наглядно показано, что все взаимодействия, кроме выделенных жирным шрифтом, являются упорядочивающими. Заметим, что наибольший фрустрирующий вклад вносит взаимодействие 4-4, которое и будем рассматривать как решающее во влиянии на магнитные свойства монокристаллов.

**Таблица 2.** Значения обменного интеграла для  $\text{Co}_3\text{VO}_5$

№ позиции	1↑	2↑	3↓	4↓
1↑	4,10	0,0	-1,58	-2,11
2↑	0,0	4,10	-3,69	-5,19
3↓	-1,58	-3,69	<b>-4,10</b>	<b>-3,40</b>
4↓	-2,111	-5,19	<b>-3,40</b>	<b>-5,44</b>

**Таблица 3.** Значения обменного интеграла для  $\text{Co}_{1,7}\text{Mn}_{1,3}\text{VO}_5$

№ позиции	1↑	2↑	3↓	4↓
1↑	0,766	0,0	-1,129	-1,67
2↑	0,0	0,766	<b>1,504</b>	-2,936
3↓	-1,129	<b>1,504</b>	<b>-2,907</b>	<b>-3,836</b>
4↓	-2,111	-2,936	<b>-3,836</b>	<b>-2,262</b>

**Таблица 4.** Значения обменного интеграла для  $\text{Co}_{2,88}\text{Cu}_{0,12}\text{O}_2\text{VO}_3$

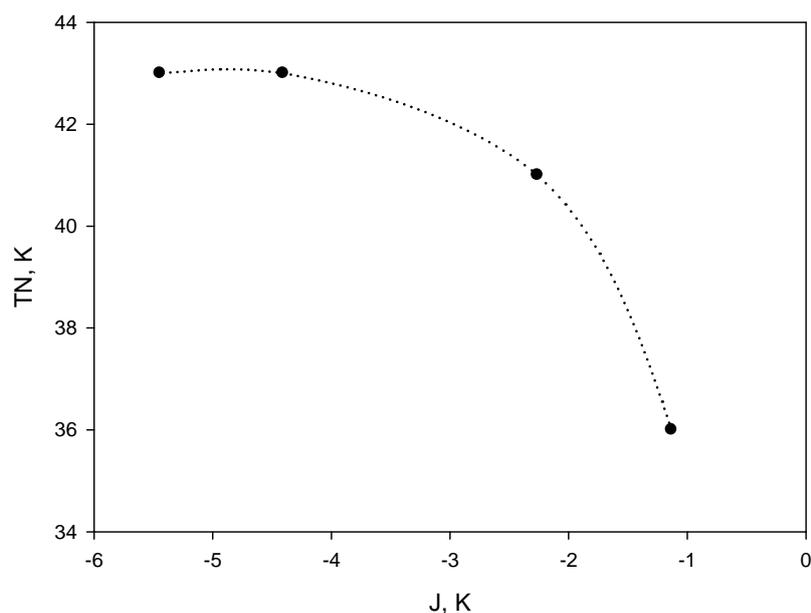
№ позиции	1↑	2↑	3↓	4↓
1↑	4,10	0,0	-1,043	-1,374
2↑	0,0	4,10	<b>3,688</b>	-5,501
3↓	-1,043	<b>3,688</b>	4,900	1,75
4↓	-1,374	-5,501	1,75	<b>-4,407</b>

**Таблица 5.** Значения обменного интеграла для  $\text{Co}_{2,38}\text{Ga}_{0,62}\text{VO}_5$ 

№ позиции	1↑	2↑	3↓	4↓
1↑	4,10	0,0	-1,577	-0,963
2↑	0,0	4,10	-3,116	-2,00
3↓	-1,577	-3,116	4,10	<b>-1,551</b>
4↓	-0,963	-2,00	<b>-1,551</b>	<b>-1,132</b>

Также, как показали данные рентгеновской дифракции, замещение химическими элементами в родительском составе происходит в основном в позициях 2 и 4, что связано с распределением градиента электрического поля и влияния кристаллического поля.

В ходе данной работы был произведён расчёт обменных взаимодействий и в дочерних составах. Результаты расчёта показали качественно идентичную структуру с родительским образцом, и различия обнаруживаются только в количественном соотношении значений обменного интеграла. Для позиции 4 получаем следующую графическую зависимость температуры упорядочения от значений фрустрирующих взаимодействий, представленную на рис. 1.



*Рис. 1. Зависимость температуры упорядочения от значений фрустрирующих взаимодействий*

График показывает, что с уменьшением фрустраций в образцах уменьшается и температура магнитного упорядочения. В образце  $\text{Co}_{2,38}\text{Ga}_{0,62}\text{VO}_5$  температура упорядочения наименьшая. Ионы, замещающие в родительском составе кобальт, имеют симметричную d-оболочку, что объясняет их диамагнитный характер. И, по-видимому, приводит к уменьшению фрустрирующих взаимодействий в образцах. Таким образом,

фрустрирующие взаимодействия не могут быть однозначно отнесены к разупорядочивающему фактору магнитной системы, и их влияние, как показывают проведённые расчёты, значительно сложнее и требует повышенного внимания при исследовании магнитной структуры.

УДК 735.29

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ $\text{Ni}_5\text{GeO}_4(\text{VO}_3)_2$ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ УПОРЯДОЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ ИОНОВ

**И.И. Назаренко**

**Научный руководитель С.Н. Софронова**

*Сибирский государственный аэрокосмический университет  
им. ак. М.Ф. Решетнева (СибГАУ)*

В настоящее время современные магнитные материалы являются очень востребованным продуктом во многих областях науки и техники. Новые соединения создаются каждый год, и в основном это делается для решения определённых задач технологического характера. Так в Институте физики им. Л. В. Киренского СО РАН были выращены кристаллы  $\text{Ni}_5\text{Ge}(\text{O}_2\text{VO}_3)_2$ .

Они принадлежат к семейству людвигитов. Кристаллы данного семейства обладают очень интересными магнитными свойствами. Характерной особенностью этих соединений является наличие в структуре треугольных или тетраэдрических групп, что может привести к возникновению фрустраций, обусловленных структурными особенностями соединений.

Как правило, большая часть получаемых из новых соединений материалов исследованы недостаточно подробно, однако информация об их структуре чаще всего установлена. Получение данных обо всех физических свойствах прямо из информации о структуре, к сожалению, невозможно, однако, информация о структуре оказывается достаточной для проведения теоретико-группового анализа. На базе теоретико-группового анализа можно из соображений симметрии определить, какие колебания присутствуют в кристалле, найти собственные векторы и построить оператор проектирования. А если в кристалле имеются магнитные атомы, провести анализ возможных магнитных структур [1].

*Целью исследования* было установление возможной магнитной структуры кристаллов  $\text{Ni}_5\text{Ge}(\text{O}_2\text{VO}_3)_2$  методом теоретико-группового анализа.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Ознакомиться с известными данными для кристалла  $\text{Ni}_5\text{Ge}(\text{O}_2\text{VO}_3)_2$ .
- Осуществить теоретико-групповой анализ магнитной структуры.
- Построить возможную магнитную структуру кристалла для различных вариантов упорядочения магнитных ионов.

Для определения магнитной структуры кристалла необходимо разложить магнитные представления по неприводимым представлениям и для каждого из них представлений вычислить оператор проектирования, столбцы которого и будут задавать направления магнитных моментов.

Магнитное представление строится по правилу [2]:

$$T_{\alpha\beta}(\vec{k}, h) = H_{\alpha\beta} \delta(k, F_0[k', h]) * \exp\{i\vec{k}[x(k) - hx(k')]\} * \delta_0,$$

где  $\delta_0 = 1$ , если  $h \in (h_1 \dots h_{24})$  и  $\delta_0 = -1$ , если  $h \in (h_{25} \dots h_{48})$ ,  $\delta$  – символ Кронекера;  $x(k)$ ,  $x(k')$  – координаты атомов;  $h$  – элемент симметрии;  $k$  – волновой вектор.

Определить сколько раз неприводимое представление встречается в приводимом можно по формуле:

$$C_s = H^{-1} \sum \chi(\vec{k}, h) \chi^{(s)}(\vec{k}, h)^*,$$

где  $H$  – порядок группы.

Направление магнитных моментов получаем, умножая оператор проектирования на произвольный вектор, оператор проектирования определяем по правилу:

$$P_{\lambda\lambda'}^{(s)}(k) = \frac{fs}{H} \sum_h \tau_{\lambda\lambda'}^{(s)}(\vec{k}, h) * T(\vec{k}, h),,$$

где  $fs$  – разность неприводимого представления.

Кристаллы  $\text{Ni}_5\text{Ge}(\text{O}_2\text{VO}_3)_2$  относятся к пространственной группе  $P6am$  (No. 55). Элементарная ячейка содержит 10 магнитных атомов, которые расположены в симметричных позициях 4g, 4h, 2b, 2c. Интересной особенностью данного соединения является то, что ионы никеля (ион с магнитным моментом) и германия (немагнитный ион) занимают симметричную позицию 4g (положения 9–12) с вероятностью 50 % каждый, соответственно магнитные ионы распределены по 12 положениям в элементарной ячейке, изображённой на рис. 1. Таким образом, данная особенность может привести к необычным магнитным свойствам исследуемого соединения.

Пространственная группа  $P6am$ , No. 55, содержит 8 элементов симметрии, представленных винтовыми осями –  $h_2^+$  ( $\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$ ),  $h_3^+$  ( $\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$ ),  $h_4$

+ ( 0 0 0 ), плоскостями скользящего отражения –  $h_{26} + ( \frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2} )$ ,  $h_{27} + ( \frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2} )$ ,  $h_{28} + ( 0 0 \frac{1}{2} )$  и инверсией  $h_{25} + ( 0 0 \frac{1}{2} )$  [4, 282–283]. Для каждого элемента симметрии было построено магнитное представление для различных точек зоны Бриллюэна. Затем для магнитных представлений вычислено разложение приводимых представлений по неприводимым. Проведен анализ возможных магнитных структур для  $k_{19}=0$ .

Разложения по неприводимым представлениям для  $k_{19}=0$ :

$$T(k_{19}=0) = 4\tau_1 + 4\tau_2 + 2\tau_3 + 8\tau_4 + 2\tau_5 + 8\tau_6 + 4\tau_7 + 4\tau_8.$$

В результате выполнения анализа возможных магнитных структур были получены следующие данные, приведённые в табл. 1.

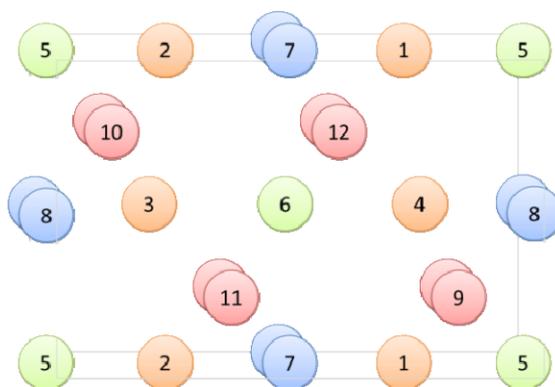


Рис. 1. Элементарная ячейка кристалла

**Таблица 1.** Направления магнитных моментов для случая полного заполнения позиции 4g ионами Ni

Ион	Неприводимые представления $\tau$								Поз.
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	+x +y 0	0 0 +z	0 0 +z	+x +y 0	0 0 +z	+x +y 0	+x +y 0	0 0 +z	4h
2	-x -y 0	0 0 +z	0 0 -z	+x +y 0	0 0 -z	+x +y 0	-x -y 0	0 0 +z	
3	-x +y 0	0 0 -z	0 0 +z	+x -y 0	0 0 -z	-x +y 0	+x -y 0	0 0 +z	
4	+x -y 0	0 0 -z	0 0 -z	+x -y 0	0 0 +z	-x +y 0	-x +y 0	0 0 +z	
5	0 0 0	0 0 +z	0 0 0	+x + 0	0 0 0	+x +y 0	0 0 0	0 0 +z	2b
6	0 0 0	0 0 -z	0 0 0	+x -y 0	0 0 0	-x +y 0	0 0 0	0 0 +z	
7	0 0 0	0 0 +z	0 0 0	+x +y 0	0 0 0	+x +y 0	0 0 0	0 0 +z	2c
8	0 0 0	0 0 -z	0 0 0	+x -y 0	0 0 0	-x +y 0	0 0 0	0 0 +z	
9	+x +y 0	0 0 +z	0 0 +z	+x +y 0	0 0 +z	+x +y 0	+x +y 0	0 0 +z	4g
10	-x -y 0	0 0 +z	0 0 -z	+x +y 0	0 0 -z	+x +y 0	-x -y 0	0 0 +z	
11	-x +y 0	0 0 -z	0 0 +z	+x -y 0	0 0 -z	-x +y 0	+x -y 0	0 0 +z	
12	+x -y 0	0 0 -z	0 0 -z	+x -y 0	0 0 +z	-x +y 0	-x +y 0	0 0 +z	

В рассматриваемом случае в позиции 4g все ионы магнитные – Ni, данное усреднение даёт общую картину магнитной структуры во всём кристалле.

Так, неприводимое представление  $\tau_1, \tau_7$  даёт АФМ (антиферромагнитную) структуру вдоль осей X и Y;  $\tau_2, \tau_3, \tau_5$  – АФМ вдоль Z;  $\tau_4$  – ФМ (ферромагнитная) структура вдоль X и АФМ вдоль Y;  $\tau_6$  – АФМ вдоль X и ФМ вдоль Y;  $\tau_8$  – ФМ вдоль Z [3].

Так как кристаллическая структура представляет собой твёрдый раствор, где равновероятно располагаются магнитные и немагнитные ионы, был выполнен теоретико-групповой анализ для различных случаев упорядочения. Если ионы 9, 12 являются магнитными (Ni), а 10 и 11 – немагнитными (Ge) (рис. 2). Происходит понижение симметрии [4, 17–41] до группы  $P2_1am$ , № 26, обладающей следующими элементами симметрии: винтовая ось  $h_4^+$   $(0\ 0\ \frac{1}{2})$  и 2 плоскости скользящего отражения в плоскостях X и Y –  $h_{26}^+$   $(0\ 0\ 0)$ ,  $h_{27}^+$   $(0\ 0\ \frac{1}{2})$  [4, 220–221].

Для данного случая было получено разложение по неприводимым представлениям для волнового вектора  $k_{19}$ :  $T(k_{19}=0) = 5\tau_1 + 10\tau_2 + 5\tau_3 + 10\tau_4$

В табл. 2 приведены направления магнитных моментов для данного варианта упорядочения. Здесь мы можем видеть ФМ вдоль оси X структуры, соответствующую неприводимому представлению  $\tau_3$ ; АФМ вдоль X –  $\tau_1$ ; АФМ вдоль Y и ФМ вдоль Z –  $\tau_2$  и ФМ вдоль Y и АФМ вдоль Z –  $\tau_4$ .

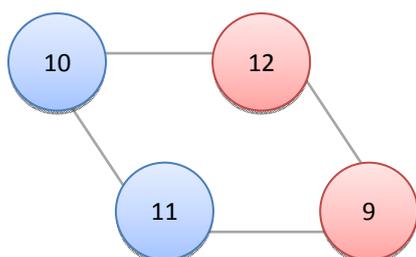


Рис. 2. Упорядочение магнитных ионов в позиции 4g группы № 55

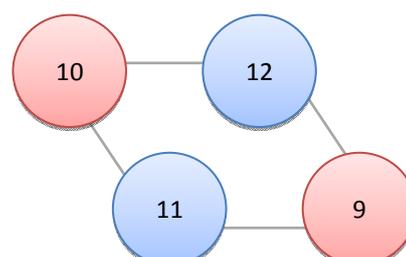


Рис. 3. Ионы 9 и 10 – Ni (Позиция 4g в группе No. 55)

Если в качестве магнитных ионов оставить атомы 9 и 10, то пространственная группа симметрии понижается до  $P112/m$ , 10. На рис. 3 приведено соответствующее упорядочение (магнитные ионы выделены розовым цветом).

Группе  $P112/m$ , № 10, соответствуют 4 элемента симметрии: единичный элемент –  $h_1$ , поворот на  $180^\circ$  по Y –  $h_3^+$   $(0\ 0\ 0)$ , инверсия –  $h_{25}^+$   $(0\ 0\ 0)$  и отражение в плоскости Y –  $h_{27}^+$   $(0\ 0\ 0)$  [4, 160-163].

Было получено следующее разложение по неприводимым представлениям

$$T(k=0) = 7\tau_1 + 6\tau_2 + 14\tau_3 + 3\tau_4$$

И возможные магнитные структуры в табл. 3. В ней представлены следующие возможные магнитные структуры:  $\tau_1$  – ФМ вдоль Z;  $\tau_2$  – АФМ вдоль X и Y;  $\tau_3$  – ФМ вдоль X и Y и  $\tau_4$  – АФМ вдоль Z.

**Таблица 2.** Возможные магнитные структуры для ионов 9, 12 –Ni в позиции 4g

Неприводимые представления $\tau$	Ионы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12		
1	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0
2	+	+	-	+	+	-	+	-	+	+	+	-
	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0	x 0 0
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z	0 y z
Позиции	2b1		2b2		2b3		2a1		2a2			

Когда магнитные ионы Ni занимают положения 9 и 11, получаем понижение симметрии до пространственной группы  $Pb2_1m$ , 26, обладающей такими же элементами симметрии, что в случае магнитных ионов в положениях 9, 12, однако сейчас ось второго порядка располагается вдоль оси Y.

Для данного варианта упорядочения также было получено разложение по неприводимым представлениям для  $k=0$ :

$$T(k=0) = 10\tau_1 + 5\tau_2 + 10\tau_3 + 5\tau_4.$$

**Таблица 3.** Возможные магнитные структуры для ионов 9, 10–Ni в позиции 4g

Неприводимые представления $\tau$	Ионы													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0		
2	+	+	-	-	+	+	-	-			+	+	-	-
	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x	y 0 x
4	+	-	+	-							+	-		
	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 z 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 z 0	0 z 0		
Позиции	2n1		2n2		1b	1h	1d	1c	2m					

Из рис. 4 и табл. 4 магнитных структур, наблюдается некоторая схожесть со структурами и расположением ионов в позиции 4g группы № 55 в случае магнитных ионов 9 и 12, причём сейчас магнитные моменты ионов направлены вдоль осей отличных от случая с Ni в положениях 9,12.

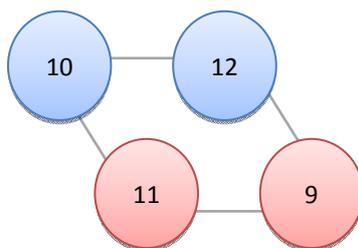


Рис. 4. Ионы 9 и 11 – Ni (Позиция 4g в группе No. 55)

**Таблица 4.** Возможные магнитные структуры для ионов 9, 11–Ni в позиции 4g

Неприводимые представления $\tau$	Ионы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11
1	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
2	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
3	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Позиции	$2n1$		$2n2$		$1b$	$1h$	$1d$	$1c$	$2m$	

В результате для  $\tau_1$  имеем АФМ структуру вдоль оси Z, для  $\tau_2$  – АФМ вдоль X и ФМ вдоль Y, для  $\tau_3$  – ФМ вдоль Z и для  $\tau_4$  – ФМ вдоль X и АФМ вдоль Y.

В ходе проделанного исследования были изучены известные сведения о кристаллах  $Ni_5Ge(O_2VO_3)_2$ ; осуществлён теоретико-групповой анализ магнитной структуры; построены возможные магнитные структуры кристалла для различных вариантов упорядочения магнитных ионов.

### Список литературы

1. Ковалёв О. В. Неприводимые представления пространственных групп / О. В. Ковалёв. – Киев, 1961.
2. Изюмов Ю. А. Нейтронография магнетиков / Ю. А. Изюмов, В. Е. Найш, Р. П. Озеров. – М.: Атомиздат, 1981.
3. Сборник тезисов, материалы XVIII Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-18, Красноярск): материалы конференции, тезисы докладов: В 1 т.Т.1 – Красноярск: издательство АСФ Россия, 2012. – 309 с.
4. International Tables for Crystallography (2006). Vol. A, Space group 55.

## МЁССБАУЭРОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОСФЕР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОЛ

Е.И. Осетров

Научный руководитель О.А. Баюков

Сибирский федеральный университет

Ферросферы – это компоненты летучих зол – продуктов сжигания углей на тепловых электростанциях. Предварительные исследования Института химии и химических технологий СО РАН показали, что они могут являться перспективными объектами для разработки катализаторов реакции окислительной конденсации метана. Продуктом таких реакций является этилен, производство которого может быть эффективным способом утилизации природного газа. Для исследования были отобраны 19 фракций зол углей различных месторождений: Экибастузского (серия E, содержание 25.4-49.9 вес.% Fe), Новокузнецкого (серия P, 26.2-46.5 вес.% Fe), Тунгуйского (серия B, 53.4-55.4 вес.% Fe), Березовского (серия S, 59.6-64.8 вес.% Fe). Для выделения узких фракций ферросфер использовали технологическую схему, включающую первичную «сухую» магнитную сепарацию золы и последующую гранулометрическую классификацию концентрата. В результате такого разделения удалось получить и классифицировать по содержанию железа узкие фракции ферросфер.

Исследованию фазового состава ферросфер и состоянию железа с помощью мессбауэровской спектроскопии посвящена эта работа.

Измерения мессбауэровских параметров ферросфер проведены при комнатной температуре на спектрометре МС-1104Ем с источником  $\text{Co}^{57}(\text{Cr})$ . В качестве примера на рис.1 показаны мессбауэровские спектры фракций для всех четырех серий.

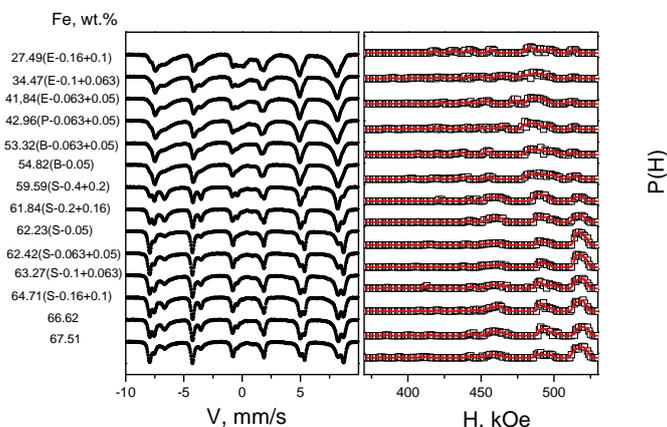


Рис.1. Мессбауэровские спектры фракций серий E, P, B и S ферросфер

**Таблица 1.** Мессбауэровские параметры для всех четырех серий микросфер

Фракция	IS	H	QS	$W_{34-16}$	A	Позиция	
E-0.16±0.1 Fe=27.49	0.303	514	-0.40	0.25-0.19	<b>0.035</b>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	0.244	489	-0.08	0.29-0.43	<b>0.232</b>	Fe <sup>3+</sup> (A+B)	
	0.201	472	-0.06	0.23-0.62	<b>0.150</b>	Fe <sup>v3+</sup> (B)	
	0.564	460	0	0.33-0.78	<b>0.255</b>	Fe <sup>2.5+</sup>	
	0.573	426	-0.08	0.47-0.74	<b>0.123</b>	Fe <sup>vv2.5+</sup>	
	0.489	382	0.22	0.46	<b>0.035</b>	Fe <sup>vv2.5+</sup>	
	0.309	–	1.05	0.99	<b>0.070</b>	PM(Fe <sup>2+</sup> )	
	0.952	–	1.98	0.72	<b>0.101</b>	PM(Fe <sup>2+</sup> )	
	(Fe <sup>3+</sup> <sub>0.757</sub> Fe <sup>v3+</sup> <sub>0.189</sub> Mg <sup>2+</sup> <sub>0.045</sub> Ca <sup>2+</sup> <sub>0.009</sub> ) [Fe <sup>v3+</sup> <sub>0.302</sub> Fe <sup>2.5+</sup> <sub>0.833</sub> Fe <sup>v2.5+</sup> <sub>0.402</sub> Fe <sup>vv2.5+</sup> <sub>0.115</sub> Al <sup>3+</sup> <sub>0.156</sub> Mg <sup>2+</sup> <sub>0.133</sub> Ti <sup>4+</sup> <sub>0.009</sub> □ <sub>0.050</sub> ] O <sup>2-</sup> <sub>4</sub>						
	P-0.063±0.05 Fe=42.96	0.314	514	-0.40	0.12-0.18	<b>0.024</b>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.239		492	0	0.17-0.43	<b>0.207</b>	Fe <sup>3+</sup> (A+B)	
0.248		474	-0.10	0.48-0.60	<b>0.341</b>	Fe <sup>v3+</sup> (B)	
0.629		464	-0.07	0.46	<b>0.148</b>	Fe <sup>2.5+</sup>	
0.591		435	-0.01	0.62	<b>0.141</b>	Fe <sup>v2.5+</sup>	
0.546		398	0.01	0.46	<b>0.038</b>	Fe <sup>vv2.5+</sup>	
0.317		–	0.88	0.91	<b>0.038</b>	PM(Fe <sup>3+</sup> )	
0.793		–	1.95	1.06	<b>0.065</b>	PM(Fe <sup>2+</sup> )	
(Fe <sup>3+</sup> <sub>0.622</sub> Fe <sup>v3+</sup> <sub>0.314</sub> Mg <sup>2+</sup> <sub>0.055</sub> Ca <sup>2+</sup> <sub>0.009</sub> ) [Fe <sup>v3+</sup> <sub>0.708</sub> Fe <sup>2.5+</sup> <sub>0.443</sub> Fe <sup>v2.5+</sup> <sub>0.423</sub> Fe <sup>vv2.5+</sup> <sub>0.114</sub> Mg <sup>2+</sup> <sub>0.165</sub> Al <sup>3+</sup> <sub>0.053</sub> □ <sub>0.094</sub> ] O <sup>2-</sup> <sub>4</sub>							
B-0.05 Fe=54.82		0.333	512	-0.33	0.14-0.31	<b>0.071</b>	$\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	0.231	491	0	0.32-0.42	<b>0.432</b>	Fe <sup>3+</sup> (A+B)	
	0.317	476	-0.29	0.37-0.59	<b>0.186</b>	Fe <sup>v3+</sup> (B)	
	0.646	463	0	0.38-0.64	<b>0.185</b>	Fe <sup>2.5+</sup> (B)	
	0.610	433	0.10	0.33-0.37	<b>0.049</b>	Fe <sup>v2.5+</sup> (B)	
	0.635	404	0	0.40	<b>0.032</b>	Fe <sup>vv2.5+</sup> (B)	
	0.287	–	0.88	1.52	<b>0.045</b>	PM(Fe <sup>3+</sup> )	
	(Fe <sup>3+</sup> <sub>0.946</sub> Mg <sup>2+</sup> <sub>0.046</sub> Ca <sup>2+</sup> <sub>0.008</sub> ) [Fe <sup>v3+</sup> <sub>0.317</sub> Fe <sup>2.5+</sup> <sub>0.541</sub> Fe <sup>v2.5+</sup> <sub>0.143</sub> Fe <sup>vv2.5+</sup> <sub>0.094</sub> Mg <sup>2+</sup> <sub>0.138</sub> Al <sup>3+</sup> <sub>0.079</sub> Ti <sup>4+</sup> <sub>0.003</sub> □ <sub>0.141</sub> ] O <sup>2-</sup> <sub>4</sub>						

$S_{-0.063+0.05}$ 220-170 Fe=67.51	0.318	519	-0.30	0.22-0.29	<b>0.362</b>	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	
	0.226	491	-0.05	0.23-0.49	<b>0.239</b>	$\text{Fe}^{3+}(\text{A+B})$	
	0.612	461	0.06	0.25-0.61	<b>0.225</b>	$\text{Fe}^{2,3+}(\text{B})$	
	0.576	417	-0.02	0.42-0.63	<b>0.044</b>	$\text{Fe}^{v2.5+}(\text{B})$	
	0.271	387	0.57	0.60	<b>0.042</b>	$\text{Fe}^{vv3+}(\text{B})$	
	0.315	–	1.69	1.48	<b>0.089</b>	$\text{PM}(\text{Fe}^{3+})$	
	$(\text{Fe}_{0.979}^{3+} \text{Ca}_{0.018}^{2+} \text{Mg}_{0.003}^{2+})[\text{Fe}_{0.273}^{3+} \text{Fe}_{1.178}^{2.5+} \text{Fe}_{0.230}^{v2.5+} \text{Fe}_{0.220}^{vv3+} \text{Mg}_{0.010}^{2+} \square_{0.089}] \text{O}_4^{2+}$						

Расшифровка спектров проведена в два этапа. На первом этапе определены распределения вероятности сверхтонких полей (H) для секстетов и квадрупольных расщеплений (QS) для дублетов для трех валентных состояний железа,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2.5+}$  и  $Fe^{2+}$ . На основе этой информации формировался модельный спектр. На втором этапе модельный спектр подгонялся к экспериментальному спектру при варьировании всего набора параметров сверхтонкой структуры. Как пример, в табл. 1 сведены результаты расшифровки для фракций четырех серий ферросфер.

В ферросферах обнаруживаются три основные железосодержащие фазы: гематит, магнетит и алюмосиликатное стекло. Гематит идентифицируется по характерным для секстета параметрам ( $IS \sim 0.38$  мм/с,  $H \sim 515$  кЭ и  $QS \sim -0.38$  мм/с). Магнетит идентифицируется по наличию железа смешанной валентности ( $Fe^{2.5+}$ ). Парамагнитные части спектра приписываем железу, находящемуся в алюмосиликатах,  $PM(Fe^{3+})$  и  $PM(Fe^{2+})$ .

В исследованных микросферах обнаруживаются дополнительные позиции, которые обозначаем как  $Fe^{v3+}$ ,  $Fe^{v2.5+}$ ,  $Fe^{v2+}$  и  $Fe^{vv3+}$ . Позиции  $Fe^{v2+}$  и  $Fe^{v3+}$  возникают при локализации электрона быстрого обмена на одном из этих катионов при появлении катионной вакансии среди ближайших соседей. Параметры этих позиций  $IS=0.68-0.72$  мм/с,  $H=420-440$  кЭ и  $IS=0.38-0.55$  мм/с,  $H=460-480$  кЭ, соответственно.

Позиция  $Fe^{vv2.5+}$  с параметрами  $IS=0.64$  мм/с и  $H=410$  кЭ имеет среди соседей диамагнитный тетраэдрический катион типа Mg и октаэдрическую катионную вакансию. Быстрый электронный обмен не разрушается.

Позиция  $Fe^{vv3+}$  с параметрами  $IS=0.36-0.50$  мм/с и  $H=370-420$  кЭ имеет среди соседей диамагнитный тетраэдрический катион большого радиуса типа Ca и октаэдрическую катионную вакансию. Электрон быстрого обмена локализован на кислороде.

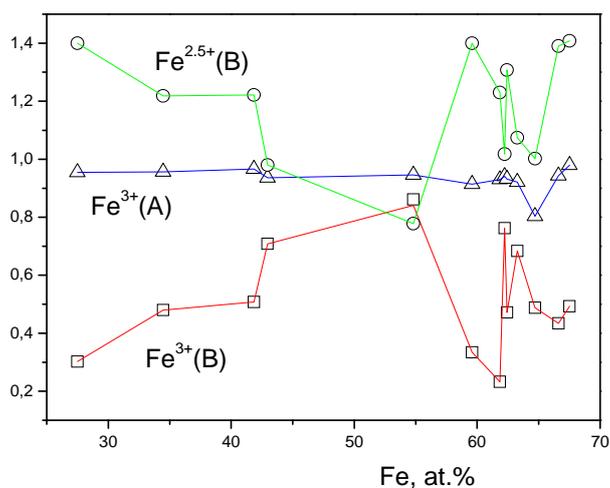
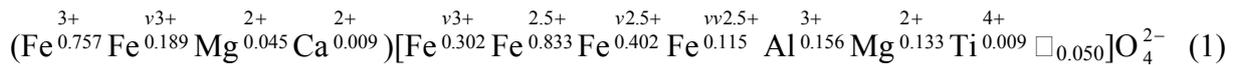


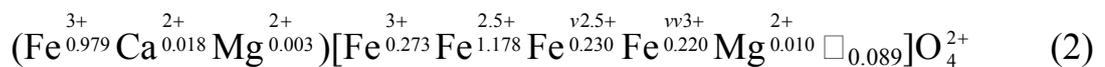
Рис. 2. Зависимость заселенностей различных позиций шпинельной фазы от общего содержания железа в ферросферах

Ясно, что дополнительные позиции  $\text{Fe}^{v3+}$ ,  $\text{Fe}^{v2.5+}$ ,  $\text{Fe}^{v2+}$  и  $\text{Fe}^{vv3+}$  возникают из-за дефектности магнетита. Дефектность может возникать за счет замещения катионов железа иными катионами, катионными и анионными вакансиями и сопутствующими искажениями решетки шпинели. Заселенность различных позиций железа в зависимости от общего содержания железа в ферросферах показана на рис. 2. Заселенности вычислены в предположении одинаковой вероятности эффекта Мессбауэра для всех позиций.

Мессбауэровские результаты позволяют оценить формулы шпинели. Для низкожелезистых (серия E):



Для высоко-железистых (серия S):



Позиции  $\text{Fe}^{vv3+}$  обнаруживаются только в высокожелезистых ферросферах серии S. В этой серии, в отличие от остальных, согласно данным химического анализа, присутствует заметное количество Ca, порядка 9%. В решетке он занимает тетраэдрические позиции. Наличие катионной вакансии и Ca, имеющего большой ионный радиус, может приводить к дефициту электрона на кислороде. Такой кислород  $[\text{O}^{1-}]$ , связанный с решеткой, способен отрывать водород от молекулы метана. Следовательно, наличие Ca и катионной вакансии можно считать спутниками активных центров.

# ХИМИЯ

---

УДК 541.127

## **КИНЕТИКА ОКИСЛЕНИЯ РАСПЛАВОВ $\text{Bi} - \text{Pb}$ И $\text{Bi} - \text{Sn}$ В КИСЛОРОД-АРГОНОВОЙ СМЕСИ**

**Д.С. Аксёнова**

**Научный руководитель Н.В. Белоусова**  
*Сибирский федеральный университет*

В технологическом процессе металлы в той или иной степени проходят через жидкую фазу, часто это сопровождается контактом с окислительной атмосферой, что приводит к коррозии и образованию оксидной плёнки. Закономерности процесса окисления определяются большим числом разнообразных факторов, среди которых – природа материала, условия окисления, возможность образования на металле плёнки, препятствующей диффузии кислорода и др.

Всё более широкое распространение в последнее время получают соединения на основе оксида висмута, но, несмотря на исследования, данных о взаимодействии таких систем в жидком состоянии с кислородом недостаточно.

Цель работы заключалась в исследовании влияния начального давления кислорода на кинетику окисления расплавов  $\text{Bi} - \text{Pb}$  и  $\text{Bi} - \text{Sn}$  в кислород-аргоновой смеси.

Кинетика окисления расплавов изучена в непрерывном режиме по изменению парциального давления кислорода в закрытой системе постоянного объёма.

Кинетика окисления расплавов системы  $\text{Bi} - \text{Pb}$  была изучена при давлении кислорода, равном 15, 40, 65, 90 кПа, при  $T=1073 \text{ K}$ .

На рис. 1 представлены кинетические кривые, полученные при окислении расплавов  $\text{Bi}-10 \text{ ат.}\% \text{ Pb}$  при разных начальных давлениях кислорода. Увеличение парциального давления кислорода значительно ускоряет процесс окисления. Можно отметить, что вид кинетических кривых соответствует зависимостям, полученным с помощью метода термогравиметрии при окислении на воздухе.

Для образцов, содержащих большие количества  $\text{Pb}$ , зависимость скорости прироста оксидной плёнки от парциального давления носит иной ха-

рактер. В случае сплава Вi – Рb (20 ат.%) скорость окисления практически не зависит от давления кислорода в системе до 65 кПа, а для расплавов с содержанием Рb 50 и 70 ат.% наблюдается слабая зависимость скорости окисления от парциального давления кислорода в системе.

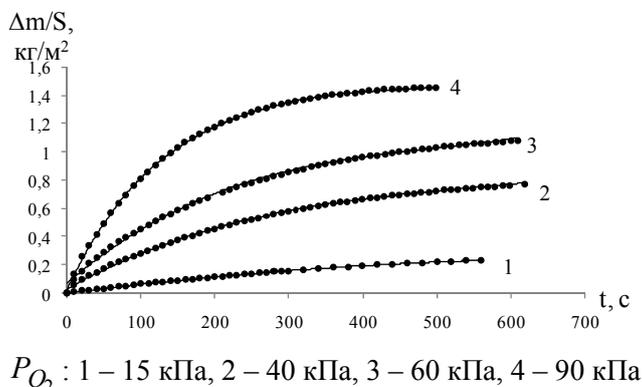


Рис. 1. Кинетика окисления расплавов Вi – 10 ат.% Рb при  $T = 1073\text{ K}$

Было выявлено влияние содержания свинца в исходных сплавах на прирост оксидных плёнок при давлении кислорода 90 кПа: с увеличением концентрации свинца в расплавах скорость роста окалины уменьшается (рис. 2).

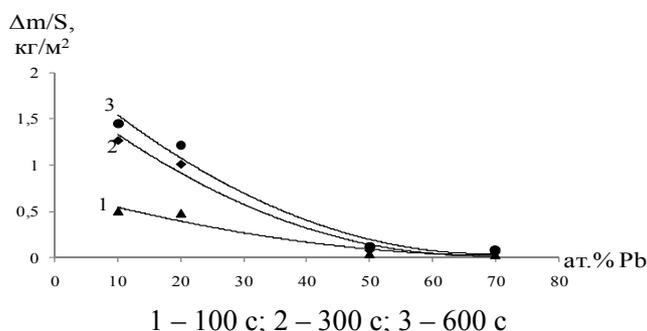


Рис. 2. Зависимости прироста окалины от исходного состава сплава Вi – Рb при  $P_{O_2} = 90\text{ кПа}$

Также была исследована кинетика окисления расплавов Вi – Sn с содержанием второго компонента 30, 50, 57, 70 ат. % при давлениях кислорода в системе 17 и 90 кПа.

Сравнение кинетических кривых окисления расплавов Вi – 30 ат.% Sn в кислород–аргоновой смеси с полученными при окислении на воздухе показало, что последние имеют линейный характер, тогда как окисление при контролируемом давлении кислорода протекает по смешанному закону.

Аналогичные результаты наблюдаются для образцов Вi – Sn, содержащих 50 и 57 ат.% Sn.

Общий вид кривых окисления  $\text{Bi} - 70 \text{ ат.}\% \text{ Sn}$  сопоставим, но изменение парциального давления кислорода приводит к существенному изменению скорости окисления.

На рис. 3 представлены зависимости прироста массы оксидных плёнок от состава сплавов  $\text{Bi} - \text{Sn}$ .

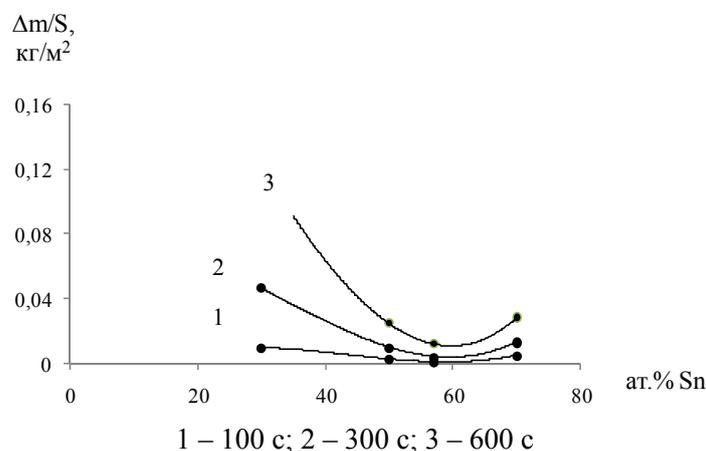


Рис. 3. Зависимости прироста окислы от исходного состава сплава  $\text{Bi} - \text{Sn}$  при  $P_{\text{O}_2} = 17 \text{ кПа}$

Кривые имеют сложный характер: для расплава, содержащего 57 ат. % Sn, (что соответствует эвтектическому составу), наблюдается минимум.

УДК 544.77

## ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Е.А. Вишнякова<sup>а</sup>, А.С. Романченко<sup>б</sup>, С.В. Сайкова<sup>а</sup>, М.Н. Лихацкий<sup>б</sup>

Научный руководитель Ю.Л. Михлин

<sup>а</sup> Сибирский федеральный университет

<sup>б</sup> Институт химии и химической технологии, СО РАН

Наночастицы металлов привлекают большой интерес с точки зрения как фундаментальной, так и прикладной науки, так как они показывают уникальные физические и химические свойства, не характерные для объемных металлов. Интерес к получению наночастиц серебра вызван свойствами, присущими только этому материалу: наибольшей интенсивностью полосы поверхностного плазмонного резонанса (ППР), самым высоким коэффициентом экстинкции, явлением гигантского комбинационного рас-

сеяния света, особенностями люминесценции и оптических характеристик. Также, к важным характеристикам ультрадисперсного серебра относятся его феноменальная каталитическая, бактерицидная и антивирусная активность. Это делает их незаменимыми во многих областях науки и техники: в различных методах анализа, биомедицинских приложениях, микроэлектронике, оптике и спектроскопии и т.д. Ультрадисперсное серебро в отсутствие стабилизатора обладает высокой реакционной способностью, вследствие чего подвергается быстрому окислению, легко агрегирует в растворах, что затрудняет его применение для практического использования. Особенности реакционной способности наночастиц имеют как фундаментальное, так и практическое значение для получения НЧ и их применений, и пока поняты недостаточно. Именно поэтому важно продолжать и углублять исследования, направленные на разработку методов получения и детальное изучение реакционной способности НЧ металлов, полученных в различных условиях.

Данная работа была посвящена сравнительному исследованию реакционной способности, прежде всего, окисляемости, наночастиц серебра, полученных в водных растворах с использованием в качестве восстановителей боргидрида натрия или глюкозы и иммобилизованных на высокоориентированный пирографит (ВОПГ).

Коллоидные растворы наночастиц серебра были охарактеризованы *in situ* методами оптической спектроскопии, малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР), фотонно-корреляционной спектроскопии (ФКС). После осаждения на графит продукты были изучены методами сканирующей зондовой микроскопии (АСМ, СТМ/СТС), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), и электрохимии. Также проводилось исследование методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

Установлено, что частицы, полученные в присутствии мягкого восстановителя – глюкозы (при микроволновом нагревании) – более мелкие (по данным МУРР, средний диаметр около 4 нм) и однородные по морфологии, в меньшей степени подвержены агрегации, что подтверждается и ПЭМ. В то же время ФКС указывает на образование в растворе структур с субмикронным гидродинамическим диаметром, вероятно, связанных с присутствием глюкозы. Наибольшее число частиц серебра, полученных с использованием боргидрида натрия, имеют размер порядка 10 нм (по данным МУРР и ПЭМ для исходного молярного отношения  $\text{NaBH}_4/\text{AgNO}_3 = 1:10$ ), образуется и значительное число агрегатов (что подтверждается данными ФКС и ПЭМ). Кроме того, ПЭМ обнаруживает определенную долю очень мелких, 2-3 нм частиц, которые, возможно, кристаллизуются уже вне раствора. Такие частицы приводят к смещению максимума  $\text{Ag } 3d$  в спектрах РФЭС (рис. 1) в сторону более высоких энергий связи.

Кроме положения максимума, отличаются также ширины линий, наблюдается вторая интенсивная линия, сдвинутая почти на 1 эВ к более высоким энергиям связи. Данное явление, связанное с наличием очень тонких частиц на подложке, обусловлено эффектом конечного состояния. Важно отметить, что при увеличении количества восстановителя происходит полное смещение максимума в сторону высоких энергий связи, что, скорее всего, говорит о том, что в данном случае в системе образуются только тонкие частицы серебра. Сравнительное электрохимическое исследование частиц, иммобилизованных на поверхности пирографита, обнаруживает высокую устойчивость к окислению частицы серебра, полученных восстановлением глюкозой, в то время как наночастицы, синтезированные с помощью боргидрида натрия, показывают поведение, обычное для металлического серебра, образуя в щелочных растворах оксид серебра.

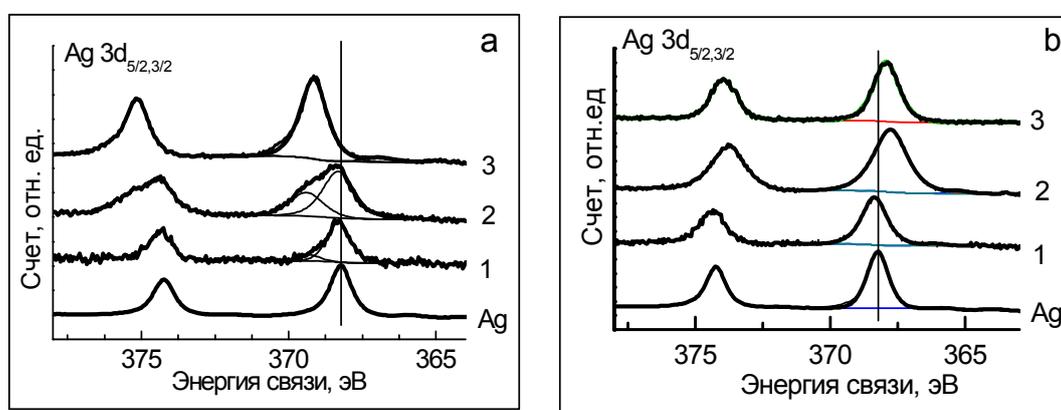


Рис. 1. Рентгеновские фотоэлектронные спектры  $Ag\ 3d_{5/2,3/2}$  до (а) и после (б) электрохимического окисления до 0,7 В в среде 1 М NaOH: металлическая Ag пластина, наночастицы серебра, полученные восстановлением глюкозой (1), боргидридом натрия при мольном отношении  $BH_4/Ag = 10/1$  (2), боргидридом натрия при мольном отношении  $BH_4/Ag = 1/1$  (3)

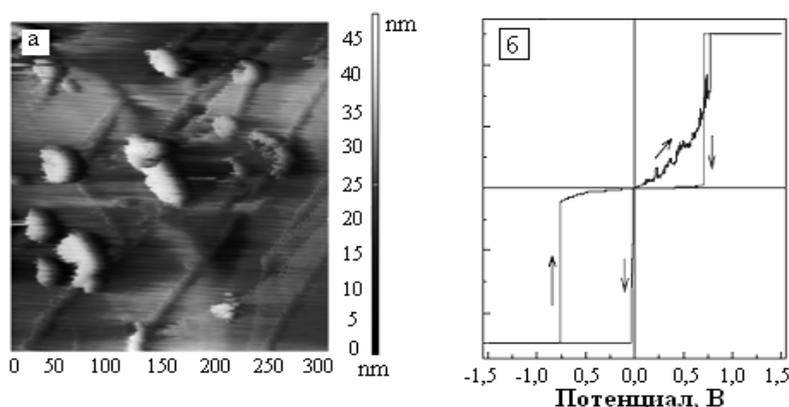


Рис. 2. STM изображение (а) и типичная зависимость туннельного тока от потенциала образца (б), измеренные на поверхности ВОПГ, на наночастицах серебра, образующихся при действии боргидридом натрия

Как было показано выше, при использовании боргидрида натрия как восстановителя, образуется определенная доля мелких частиц, которые, согласно литературным данным, обладают высокой устойчивостью к окислению. Поэтому допустимо предположить, что происходит самопроизвольная агломерация частиц и, как следствие, окисление. При этом частицы, полученные «глюкозным» восстановлением, имеют органическую оболочку, которая, с одной стороны, предотвращает процесс агломерации, а с другой, вероятно, приводит к замедлению процесса окисления.

На отдельных наночастицах серебра (возможно, нескольких агрегированных частицах), полученных в присутствии боргидрида натрия методом туннельной спектроскопии, было обнаружено, видимо, впервые, хорошо воспроизводимое резкое изменение туннельного тока (эффект так называемого резистивного переключения), тип (полярность) которого зависит от числа циклов измерений (рис. 2). Для частиц, восстановленных глюкозой, такой эффект не наблюдался. Очевидно, что резистивное переключение происходит в слое оксида серебра, образующемся на металлических наночастицах при их частичном или полном окислении до  $Ag_2O$ , в то время как частицы серебра, синтезированные с помощью глюкозы, демонстрируют устойчивость к окислению, как электрохимическому, так и локальному.

УДК-544.1

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ И МИГРАЦИИ АТОМА УГЛЕРОДА НА ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА И ГРАФЕНА**

**Д.С. Калякин**

**Научный руководитель А.А. Кузубов**

*Сибирский федеральный университет*

Различные углеродные структуры вызывают интерес исследователей в связи с тем, что являются весьма перспективными материалами для микроэлектроники, создания новых источников энергии, эффективных сорбентов. В частности, нанослой графена обладает удельной электропроводностью, соизмеримой с медью. Для создания устройств на основе графена важно иметь возможность модифицировать его отдельные участки. Одним из таких способов является генерация различных дефектов, в частности адатомов.

Теоретические методы (моделирование свойств графена с применением квантово-химических расчетов) позволяют предсказать новые свой-

ства графена, исследовать различные модификации структуры и появления надструктур. При теоретическом изучении надструктур графена, таких как двухслойный графен АВ-типа, в котором половина атомов каждого слоя располагается над и под центрами шестиугольника, важно найти методику расчета, корректно описывающую силы Ван-дер-Ваальса.

Цель данной работы – теоретическое исследование поведения адатомов в углеродных структурах. Для достижения поставленной цели нужно было решить следующие задачи:

- поиск методики расчета, наиболее полно описывающей силы Ван-дер-Ваальса в углеродных структурах;
- исследование поведения адатома на поверхности графена;
- определение энергии взаимодействия слоев в графите;
- определение энергии взаимодействия слоев в двухслойном графене АА-типа;
- исследование поведения адатома в графите.

Исследование проводили в два этапа. На первом этапе проводили поиск функционала и набора базисных функций, наиболее полно описывающих силы Ван-дер-Ваальса.

Расчеты проводили с использованием программного пакета NWChem в рамках теории функционала плотности (DFT) с применением функционалов SVWN5, B3LYP, LC-BOP, PBE, LC-PBE в сочетании с базисами 6-311++G (3df,3pd); 6-311G\*\* ; 6-311G\*\*++ , дисперсионной коррекцией (DFT-D) и коррекцией ошибки суперпозиции базисного набора (BSSE коррекция).

Для сравнения точности различных методик рассчитывали энергию взаимодействия двух молекул бензола, образующих Т-образный димер (рис. 1).

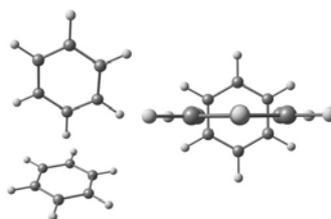


Рис. 1. Модельная структура Т-образного димера бензола

Энергию взаимодействия мономеров в Т-образном димере бензола рассчитывали по формуле:

$$E_{вз} = E_{C_{12}H_{12}} - E_{C_6H_6(верт)} - E_{C_6H_6(гор)}, \quad (1)$$

где  $E_{вз}$  – энергия взаимодействия мономеров,  $E_{C_{12}H_{12}}$  – полная энергия димера,  $E_{C_6H_6(верт)}$  – полная энергия бензола, расположенного вертикально,  $E_{C_6H_6(гор)}$  – полная энергия бензола, расположенного горизонтально.

На втором этапе работы проводили расчеты:

- 1) энергии взаимодействия адатома углерода с поверхностью графена в различных положениях;
- 2) энергии взаимодействия плоскостей графита (двухслойного графена АВ-типа);
- 3) энергии взаимодействия плоскостей двухслойного графена АА-типа;
- 4) взаимодействия адатома углерода в различных положениях с графитом.

Исследования проводили как в кластерном приближении, так и с использованием периодических структур. Расчеты в рамках кластерного приближения – с помощью программного пакета NWChem в рамках теории функционала плотности (DFT) и функционала Пердью-Бурке-Эрзенхова (PBE), набора базисных функций 6-311G\*\*++, дисперсионной коррекции (DFT-D) и коррекции ошибки суперпозиции базисного набора (BSSE коррекция), кроме того, все расчеты дублировали с использованием метода DFT LDA.

Расчеты периодических структур осуществляли с использованием программного пакета VASP в рамках теории функционала плотности (DFT) с использованием функционала Пердью-Бурке-Эрзенхова (PBE), базиса плоских волн, ультрамягких псевдопотенциалов Вандербильта и дисперсионной коррекции (DFT-D), кроме того, все расчеты дублировали с помощью метода DFT LDA. При расчете периодических структур не применялась BSSE коррекция, так как данная поправка может быть использована только для базисных функций гаусового типа.

Для изучения в рамках кластерного приближения энергии взаимодействия плоскостей графита (двухслойного графена АВ-типа) и двухслойного графена АА-типа, а также энергии взаимодействия адатома углерода с поверхностью графита и графена в различных положениях были созданы модельные участки графена (рис. 2), графита (рис. 3) и двухслойного графена АА-типа (рис. 4).

Энергию взаимодействия адатома углерода с поверхностью графена рассчитывали по формуле:

$$E_{вз} = E_{\text{слой графена с адатомом}} - E_{\text{слой графена}} - E_{\text{адатома}}, \quad (2)$$

где  $E_{вз}$  – энергия взаимодействия адатома углерода с поверхностью графена,  $E_{\text{слой графена с адатомом}}$  – полная энергия графена с адатомом углерода,  $E_{\text{слой графена}}$  – полная энергия слоя графена,  $E_{\text{адатома}}$  – полная энергия адатома.

Энергию взаимодействия плоскостей двухслойного графена рассчитывали по формуле:

$$E_{вз} = E_{2 \text{ слоя графена}} - 2E_{\text{слой графена}}, \quad (3)$$

где  $E_{вз}$  – энергия взаимодействия слоев графена,  $E_{2 \text{ слоя графена}}$  – полная энергия двухслойного графена,  $E_{\text{слой графена}}$  – полная энергия слоя графена.

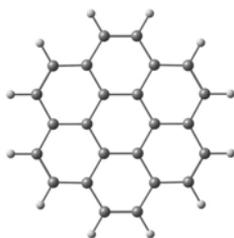


Рис. 2. Модельный участок графена

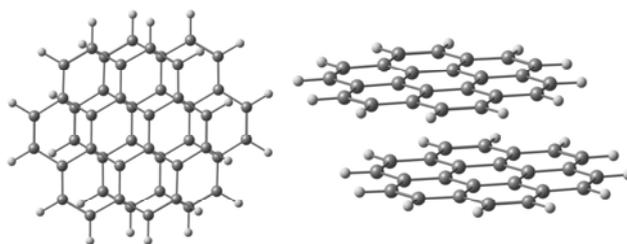


Рис. 3. Модельный участок графита

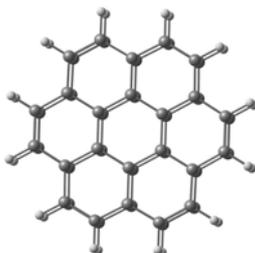


Рис. 4. Модельный участок двухслойного графена AA-типа

Энергию взаимодействия адатома углерода с двухслойным графеном рассчитывали по формуле:

$$E_{вз} = E_{2 \text{ слоя графена с адатомом}} - E_{2 \text{ слоя графена}} - E_{\text{адатома}}, \quad (4)$$

где  $E_{вз}$  – энергия взаимодействия адатома углерода с двухслойным графеном,  $E_{2 \text{ слоя графена с адатомом}}$  – полная энергия двухслойного графена с адатомом углерода,  $E_{2 \text{ слоя графена}}$  – полная энергия двухслойного графена,  $E_{\text{адатома}}$  – полная энергия адатома.

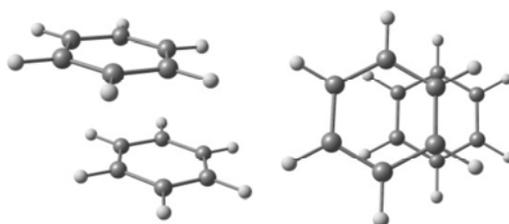
В ходе исследования энергии взаимодействия мономеров в T-образном димере бензола различными методиками было выявлено, что наиболее точный результат дает методика PBE-D+BSSE 6-311G\*\*++, основанная на использовании PBE функционала, набора базисных функций 6-311G\*\*++, дисперсионной коррекции и BSSE коррекции. Согласно данному расчету энергия взаимодействия мономеров в T-образном димере бензола равна 12,2 кДж/моль, что сопоставимо с экспериментальными

данными ( $10,0 \pm 1,7$  кДж/моль) и результатами расчетов методом объединенных кластеров CCSD (11,4 кДж/моль).

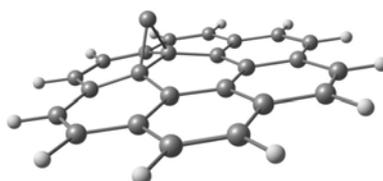
Для подтверждения эффективности выбранной методики был проведен расчет димера бензола PD-типа (рис. 5).

Рассчитанная энергия составила 10,4 кДж/моль, что также хорошо согласуется с экспериментальными ( $10,0 \pm 1,7$  кДж/моль) и CCSD (11,5 кДж/моль) данными.

После определения наиболее точной методики расчета провели исследование взаимодействия адатома углерода с поверхностью графена в различных положениях. Наиболее оптимальным положением адатома углерода на поверхности графена является положение над связью углерод–углерод (рис. 6). Энергия взаимодействия адатома с поверхностью графена в этом положении равна 153,1 кДж/моль.



*Рис. 5. Модельная структура димера бензола PD-типа*



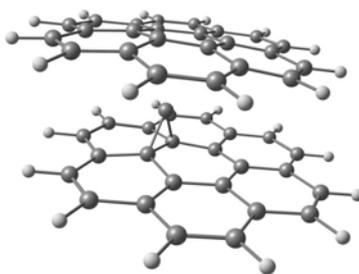
*Рис. 6. Наиболее энергетически выгодное положение адатома на поверхности графена*

Расположение адатома над атомом углерода энергетически невыгодно и, следовательно, неосуществимо.

Энергии взаимодействия плоскостей графита равны 30,6 кДж/моль.

Двухслойный графен AA-типа при оптимизации геометрии переходит в двухслойный графен AB-типа, следовательно, образование двухслойного графена AA-типа энергетически невыгодно.

Исследование взаимодействия адатома углерода с графитом (двухслойным графеном AB-типа) показало, что энергия взаимодействия адатома, расположенного между шестиугольником, образованным атомами углерода одной плоскости и связью C-C другой плоскости (рисунок 7), равна 68,1 кДж/моль. Положение адатома между шестиугольником, образованным атомами углерода одной плоскости и атомом углерода другой плоскости, и между атомами двух плоскостей энергетически невыгодно и нереализуемо.



*Рис. 7. Наиболее энергетически выгодное положение адатома в графите*

Из проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что методикой расчета, наиболее эффективно описывающей силы Ван-дер-Ваальса, является методика основанная на расчете периодических структур с использованием РВЕ функционала, набора базисных функций 6-311G\*\*++ и дисперсионной коррекции.

2. Наиболее энергетически выгодное положение адатома на поверхности графена – положение над связью углерод-углерод, с энергией взаимодействия 153,1 кДж/моль. Прочие ге-

ометрически возможные положения адатома энергетически невыгодны и нереализуемы.

3. Энергия взаимодействия плоскостей двухслойного графена АВ-типа составляет 30,6 кДж/моль.

4. Двухслойный графен АА-типа при оптимизации геометрии переходит в двухслойный графен АВ-типа, следовательно, образование двухслойного графена АА-типа энергетически невыгодно.

5. Наиболее энергетически выгодным положением адатома в двухслойном графене АВ-типа является положение над связью углерод-углерод, с энергией взаимодействия 68.1 кДж/моль. Прочие геометрически возможные положения адатома энергетически невыгодны и неосуществимы.

6. Внедрение адатома как на поверхность графена, так и в двухслойный графен АВ-типа вызывает частичное искажение структуры.

# ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

---

## Биологический контроль

УДК 582.287

### РЕДКИЕ ВИДЫ МАКРОМИЦЕТОВ о. ТАТЫШЕВ (р. Енисей, г. Красноярск)

Д.Е. Александров  
Научный руководитель О.Е. Крючкова  
*Сибирский федеральный университет*

Исследование различных экосистем Красноярского края позволяет обнаруживать редкие для Сибирского региона виды грибов. Обычным объектом внимания микологов становятся лесные массивы, в то время как грибы островных и пойменных экосистем изучаются сравнительно редко.

Особый интерес островные экосистемы представляют потому, что в них создаются особые экологические условия вследствие их относительно небольшого размера, особенностей микроклимата, ограниченного набора экотопов и, самое главное, ландшафтной изоляции.

Целью данного исследования являлось изучение видового разнообразия грибов-макромицетов острова Татышев и выявления в их числе редких для нашего региона видов. Сообщества грибов – макромицетов о. Татышев, как и других островов р. Енисей, ранее практически не изучались.

Остров Татышев находится на реке Енисей, чуть ниже устья реки Кача, практически в центре г. Красноярска. Длина его около 6 км, ширина почти 1,5 км, общая площадь примерно 600 га.

Остров имеет наносное происхождение, характеризуется песчано-галечным сложением, приподнятостью над меженью реки, вытянутостью в длину, расчленением поверхности продольными лощинами. Отдельные участки берегов островов заболочены. Почвы, распространенные на островах, относятся к аллювиальным и аллювиально-луговым, часто малоразвиты. Во время половодья и паводков пониженные формы рельефа затопляются, зимой из-за частично не замерзающей реки обычны туманы. Экосистемы острова испытывают сильное антропогенное воздействие.

Климат исследуемой территории резко континентальный, он характеризуется продолжительной малоснежной зимой, коротким теплым летом, короткой сухой весной с поздними возвратами холодов (заморозками), непродолжительной осенью с ранними заморозками и частыми возвратами тепла (Климат Красноярска, 1982).

В данной работе исследовались коллекционные материалы, собранные в течение полевых сезонов 2009 – 2011 гг. Сбор и гербаризация образцов проводились по стандартной методике (Беглянова, 1973; Коваленко, 1980; и др.). При определении образцов использовались работы некоторых отечественных и зарубежных авторов (Бондарцева, 1998; Васильева, 1973; Смицкая, 1980; Moser, 1978, и др.)

Трофические группы грибов учитывались согласно следующей системе (Коваленко, 1980, с некоторыми изменениями):

I. Сапротрофы.

На опаде; на подстилке; на гумусе; на древесине; на неразрушенной древесине; на разрушенной древесине; на корнях и погребенной в почве древесине; на мхах; на плодовых телах грибов; на экскрементах.

II. Симбиотрофы.

Микоризообразователи.

III. Паразиты.

Факультативные или облигатные на деревьях и кустарниках.

В результате проведенных исследований всего было выявлено свыше 50 видов грибов-макромицетов, из которых достоверно определено 42 вида, что составляет лишь незначительную долю от общего числа грибов-макромицетов, обнаруженных в окрестностях Красноярска. Наибольшее количество образцов было найдено в посадках хвойных деревьев (сосна, лиственница), чуть меньше в тополевых насаждениях, менее всего макромицеты были представлены на остепненных территориях.

Среди обнаруженных грибов было выявлено пять видов, являющихся редкими для экосистем исследуемого острова (см. табл.).

Анализ распространения данных редких видов показал, что они с разной частотой встречаются на территории о. Татышев и в окрестностях (ближайших и отдаленных) г. Красноярска.

Так, *Geopora arenicola*, крайне редко встречающаяся в окрестностях Красноярска, на острове была отмечена дважды. Интересной экологической особенностью этого вида является его способность жить на супесчаных и песчаных почвах, неприемлемых для заселения другими грибами.

Редким и типично лесным видом, предпочитающим хвойные насаждения, является *Thelephora caryophyllea*. Находка ее плодового тела на острове указывает на возможности экологической пластичности этого вида.

**Таблица.** Редкие грибы-макромицеты о. Татышев

Род, вид	Тип местообитаний		Трофическая группа	Субстрат	Встречаемость на о. Татышев	Встречаемость в окрестностях г. Красноярск
	Тополевые насаждения	Обочины дорожно-тропичной сети				
Класс Ascomycetes						
Подкласс Euascomycetidae						
Порядок Pezizales						
Семейство Otideaceae						
<i>Geopora arenicola</i> (Lév.) Kers		+	сапротроф	почва	редко	очень редко
Класс Basidiomycetes						
Подкласс Holobasidiomycetidae						
Порядок Telephorales						
Семейство Telephoraceae						
<i>Thelephora caryophyllea</i> (Schaeff.) Pers.		+	сапротроф	почва	очень редко	редко
Порядок Polyporales						
Семейство Meruliaceae						
<i>Merulius tremellosus</i> Schrad.		+	сапротроф	валеж	очень редко	редко
Семейство Polyporaceae						
<i>Aurantiporus fissilis</i> (Berk. & M.A. Curtis) H. Jahn ex Ryvarden	+		факультативный паразит	живые деревья тополя, сухостой	часто	не обнаружен
Класс Agaricomycetes						
Подкласс Agaricomycetidae						
Порядок Agaricales						
Семейство Pluteaceae						
<i>Volvariella bombycina</i> (Schaeff.) Singer		+	факультативный паразит	сухостой	редко	редко

В 2011 г. на о. Татышев была отмечена первая и пока единственная находка *Merulius tremellosus*, в окрестностях Красноярска и в России в целом этот вид также встречается не часто.

Особый интерес представляет *Aurantiporus fissilis*. Этот гриб в окрестностях Красноярска ранее обнаружен не был и в целом считается достаточно редким видом для России, характерным для пойменных экосистем. В тополевых насаждениях острова *A. fissilis* встречается достаточно часто, преимущественно на сухостое, иногда и на живых деревьях тополя. Такую относительно высокую встречаемость этого вида можно объяснить специ-

фическими условиями обитания, сформировавшимися на острове: повышенной влажностью, подходящим ассортиментом древесных пород, ослабленным состоянием древостоя (многие деревья тополя в основании ствола повреждены низовыми пожарами).

На острове дважды была отмечена *Volvariella bombycina*. Ее немногочисленные находки в Красноярском крае и его окрестностях упоминаются М.И. Бегляновой (1972). Однако за последнее десятилетие в окрестностях Красноярска этот вид не был обнаружен ни разу, поэтому его нахождение на о. Татышев особенно примечательно. Следует отметить, что *V. bombycina* пригодна к употреблению в пищу, но малоизвестна местному населению и поэтому не является объектом любительского сбора.

Необычным считается факт нахождения редких видов в таких специфических сообществах, как обочины дорожно-тропиночной сети. Принято считать, что для грибов повышенная антропогенная нагрузка в виде вытаптывания является губительной, так как приводит к угнетению мицелия. Тем не менее именно в таких условиях были обнаружены плодовые тела большинства редких видов.

Таким образом, пять видов грибов-макромицетов, выявленных на о. Татышев, являются редкими как для самого острова, так и для его окрестностей. Относительная замкнутость островных экосистем создает, с одной стороны, определенные затруднения при их заселении грибами, с другой – повышает шансы на выживание некоторых редких и интересных видов предположительно вследствие снижения конкуренции со стороны прочих немногочисленных в условиях острова конкурентов за заселяемый субстрат.

### Список литературы

1. Бондарцева, М.А. Определитель грибов России. Порядок Афиллофоровые. Вып. 2. / М.А. Бондарцева. – СПб.: Наука, 1998. – 391 с.
2. Васильева, Л.Н. Агариковые шляпочные грибы (пор. Agaricales) Приморского края / Л.Н. Васильева. – Л.: Наука, 1973. – 331 с.
3. Смицкая, М.Ф. Оперкулятные дискомицеты. Флора грибов Украины / М.Ф. Смицкая. – Киев: Наукова думка, 1980. – 220 с.
4. Беглянова, М.И. Флора агариковых грибов Южной части Красноярского края. Часть 1 / М.И. Беглянова. – Красноярск, Красноярский государственный педагогический институт, 1972. – 205 с.
5. Беглянова, М.И. Флора агариковых грибов южной части Красноярского края (определитель). Часть 2. Выпуск 1 (*Boletaceae* – *Hygrophoraceae*) / М.И. Беглянова // Красноярск: Издательство КГПИ, 1973. – 118 с.
6. Климат Красноярска // под ред. Ц.А. Швер и А.С. Герасимовой. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 230 с.

7. Коваленко, А.Е. Экологический обзор грибов из порядка Polyporales s. str., Boletales, Agaricales s. str., Russulales в горных лесах центральной части Северо-Западного Кавказа / А.Е. Коваленко // Микология и фитопатология. – 1980. – Т.14. – Вып.4. – С. 300-314.

8. Moser M. Die Rohrlinge und Blatterpilze (Polyporales, Boletales, Agaricales, Russulales) / M. Moser // Gams H. Klein Kryptogamenflora, Bd 2b/2 Jena, 1978. 548 s.

УДК 574.4

## **О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ТРАНСПЛАНТАЦИОННОЙ ЛИХЕНОИНДИКАЦИИ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА**

**Н.В. Бородавко**

**Научный руководитель О.Е. Крючкова**

*Сибирский федеральный университет*

Лишайники являются классическими биоиндикаторами атмосферного загрязнения. Их использование в биомониторинге дает быстрый, простой и относительно недорогой способ получить информацию, характеризующую степень загрязнения атмосферы, особенно в городских и промышленных условиях (Бязров, 2002). На этой их особенности и основан метод лишеноиндикации – определение степени загрязнения атмосферного воздуха с применением лишайников в качестве организмов-индикаторов.

Перспективным методом анализа состояния тест-объекта является метод измерения замедленной флуоресценции (далее ЗФ) хлорофилла водорослевого компонента лишайника, он способствует значительному расширению возможностей лишеноиндикации. Традиционно талломы лишайников экспонируют очень длительный срок, от нескольких месяцев до нескольких лет (Бязров, 2002). Применение метода измерения ЗФ позволяет сократить этот период до нескольких недель. Однако практическое применение метода измерения ЗФ в лишеноиндикации пока ограничивается нехваткой оборудования и недостаточной разработанностью отдельных элементов методики.

Зимний период интересен для лишеноиндикации тем, что в это время года состав и соотношение загрязнителей атмосферы могут изменяться, так как начинают работать котельные, ТЭЦ и некоторые другие источники загрязнения, влияние которых в летний период времени было незначительным. Однако исследований реакции лишайников на влияние поллютантов зимой практически не проводилось.

Для лишайников умеренного климатического пояса возможность повреждения фотосинтетического аппарата атмосферными поллютантами в зимний период, при отрицательных температурах, в литературе практически не рассматривалась. Было принято считать, что если лишайник физиологически не активен или малоактивен, то и взаимодействовать с токсичными веществами он не будет и соответственно от них не пострадает.

Целью данной работы является определение реакции лишайников на атмосферное загрязнение в зимний период и установление возможности применения метода измерения ЗФ фотобионта лишайников для оценки их состояния после экспонирования в холодное время года.

Объектом исследования служили листоватые и кустистые лишайники видов *Hypogymnia physodes* и *Usnea swibfloridana*. Талломы лишайников крепились к стволам дерева в индивидуальных газо- и влагопроницаемых конвертах из капроновой сетки. Пробные площади (далее ПП) располагались в трех различных по степени антропогенного воздействия районах города Красноярска: «Сопка» (лесопарковая окраина города), «Центр» (центральная часть города с крупными транспортными магистралями), «КрАЗ» (окрестности алюминиевого завода).

Регистрацию ЗФ проводили на компьютеризированном флуориметре «Фотон – 10», разработанном на кафедре экотоксикологии и природопользования СФУ.

Средняя температура за весь период эксперимента составляла около 8,5 t°С, колеблясь от 4,7 °С до – 22,9 °С (рис. 1).

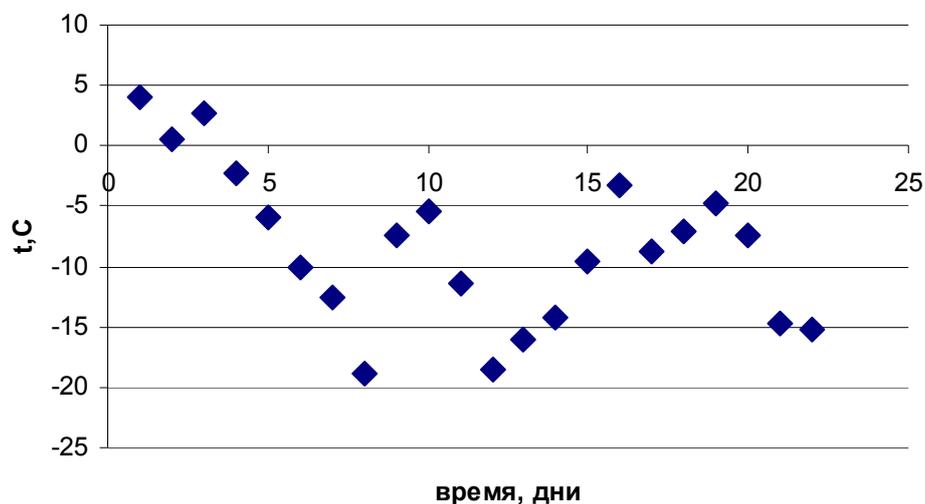


Рис. 1. Среднесуточная температура в период экспонирования лишайниковых трансплантатов

Проведенные исследования показали, что после экспонирования значения ЗФ лишайников снизилось соответственно уровню загрязнения ат-

мосферного воздуха района, в котором они экспонировались. Наибольшими значениями данного показателя оставались у лишайниковых трансплантатов на ПП «Сопка», что, соответственно, характеризует ее как район с наименьшей степенью загрязнения окружающей среды, ПП «Центр» занимает промежуточное положение (*Hypogymnia physodes*), на ПП «КрАЗ» наблюдалось максимальное для данного эксперимента снижение значений ЗФ, свидетельствующее о гибели лишайников (рис. 2).

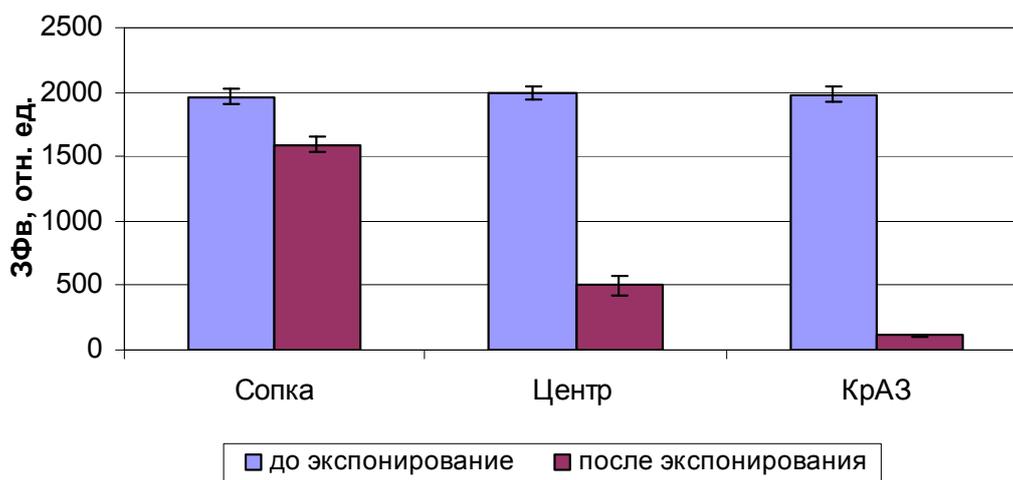


Рис. 2. Значения ЗФв лишайника *Hypogymnia physodes* после 21 суток экспонирования (05.11.2011- 26.11.2011)

Та же тенденция в изменении ЗФ наблюдалась при экспонировании *Usnea subfloridana*: значения регистрируемого показателя практически не изменились в на ПП «Сопка», заметно уменьшились на ПП «Центр» и снизились до минимальных на ПП «КрАЗ» (рис. 3).

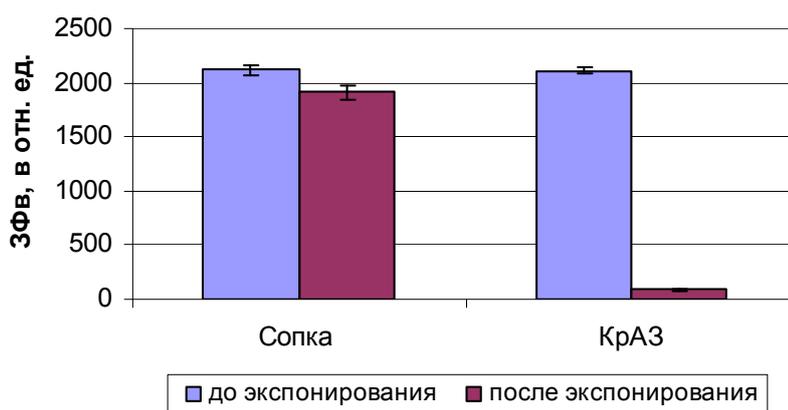


Рис. 3. Значение ЗФв лишайника *Usnea subfloridana* после 21 суток экспонирования (05.11.2011- 26.11.2011)

Способность лишайников реагировать на действие загрязнителей в холодное время года оказывается удивительной с точки зрения физиологии ли-

шайников как фотосинтезирующих организмов, так как известно, что процессы фотосинтеза активно идут при благоприятном термическом режиме (при положительных температурах) и наличии воды в жидкой фазе.

Известна способность некоторых водорослей и лишайников к фотосинтезу при низких температурах, в том числе и ниже нуля (Андерсон, Трешоу, 1988, Голубкова, 1997, Шапиро, 1991), однако такое явление рассматривалось скорее как исключительное проявление жизнедеятельности в экстремальных условиях, причем преимущественно для альпийских и арктических видов, адаптированных к суровым условиям среды. К сожалению, не известны литературные источники, описывающие способность к фотосинтезу при низких температурах видов, применяемых в описываемых экспериментах. Механизм, объясняющий реагирование лишайниковых трансплантатов на состояние среды исследуемого района в холодное время, неясен и требует дальнейшего изучения.

Следует отметить, что полученные лишеноиндикационные данные хорошо согласуются с характеристикой экологического состояния районов города, полученной другими авторами, с использованием традиционных физико-химических методов анализа состояния окружающей среды (Лопатин, 1993).

Таким образом, проведенные исследования показывают способность лишайников реагировать на загрязнение воздушной среды при отрицательных температурах, что позволяет расширить возможности метода трансплантационной лишеноиндикации, экспонировать лишайниковые трансплантаты и в зимний период.

### **Список литературы**

1. Андерсон, Ф.К. Реакция лишайников на атмосферные загрязнения / Ф.К. Андерсон, М. Трешоу // Загрязнение воздуха и жизнь растений. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 295-326.
2. Бязров, Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге / Л.Г. Бязров // М.: Научный мир, 2002. – 336 с.
3. Голубкова, Н.С. Отношение лишайников к субстрату и другим факторам внешней среды // Жизнь растений. Т. 3. – М.: Просвещение, 1997. – С. 426- 431.
4. Лопатин, А.П. Карта «Экологическое состояние окружающей среды г. Красноярска» 1: 25000 / А.П. Лопатин, В.В. Лесных, А.И. Шеховцева // Красноярский филиал Госцентра «Природа». – Красноярск, 1993.
5. Шапиро, И. А. Действие сернистого газа и гамма-излучения на нитрогеназную активность у лишайника *Lobaria pulmonary* (L.) Hoffm / И. А. Шапиро, М.Г. Нифонтова // Экология. – 1991. – № 3. – С. 47- 51.

## СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

**В.П. Лебедева**

**Научный руководитель Г.А. Сорокина**

*Сибирский федеральный университет*

Высшая растительность играет ключевую роль в большинстве наземных экосистем. Являясь первичными продуцентами, растения определяют все природные статьи баланса вещества и энергии. Трансформация растительности в результате техногенного загрязнения кардинально меняет внешний облик экосистемы и влечет за собой изменение всего ее внутреннего мира [1].

Целью данной работы является оценка сезонных изменений древесных растений: покрытосеменных – тополя, березы, и клена и хвойных – ели и лиственницы, из двух районов г. Красноярска с различным уровнем техногенной нагрузки с использованием метода регистрации термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ) [2].

Объектом исследования служили ткани феллодермы, взятые с неодревесневших побегов тополя бальзамического (*Populus balsamifera*), березы обыкновенной (*Betula pendula*), клёна ясенелистного (*Acer negúndo*), ели сибирской (*Picea obovata*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*).

Образцы отбирались в пределах Октябрьского района г. Красноярска с двух пробных площадей (ПП), различных по уровню загрязнения: ПП 1 – район Сибирского федерального университета (остановка «Университет») – условно чистый, ПП 2 – район остановки «Торговый квартал» (пр. Свободный) с повышенной техногенной нагрузкой. Сбор побегов осуществлялся с апреля 2010 г. по март 2012 г.

Для оценки сезонных изменений растений [3] проводилась регистрация термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ) феллодермы древесных растений на флуориметре «Фотон-11», сконструированном на кафедре экологии и природопользования СФУ.

В качестве показателя состояния растений и глубины покоя в соответствии с работой [2] использовали отношение интенсивностей флуоресценции, соответствующих низкотемпературному и высокотемпературному максимумам кривой ТИНУФ ( $R_2$ ), а также наглядный вид кривых ТИНУФ.

$$R_2 = \text{Флнт}/\text{Флвт} \quad (1)$$

где Флвт – интенсивность флуоресценции при высокотемпературном максимуме; Флнт – интенсивность флуоресценции при низкотемпературном максимуме.

Проведенный физико-химический анализ смывов с листьев и хвои данных видов деревьев показал, что уровень загрязнения на ПП2 выше, чем на ПП1. Это подтверждается более высокими значениями электропроводности, обусловленными ростом концентрации ионов, и увеличением рН. Также регистрируется снижение прозрачности растворов (D) (в 2 и более раз) за счет наличия в воздухе песка, сажи и других нерастворимых частиц, что более ярко выражено для хвойных растений, особенно для ели (таблица 1-2). В целом, исходя из полученных данных, уровень загрязнения в 2011 г. несколько вырос.

**Таблица 1.** Физико-химический анализ смывов с листьев и хвои деревьев, июль 2010

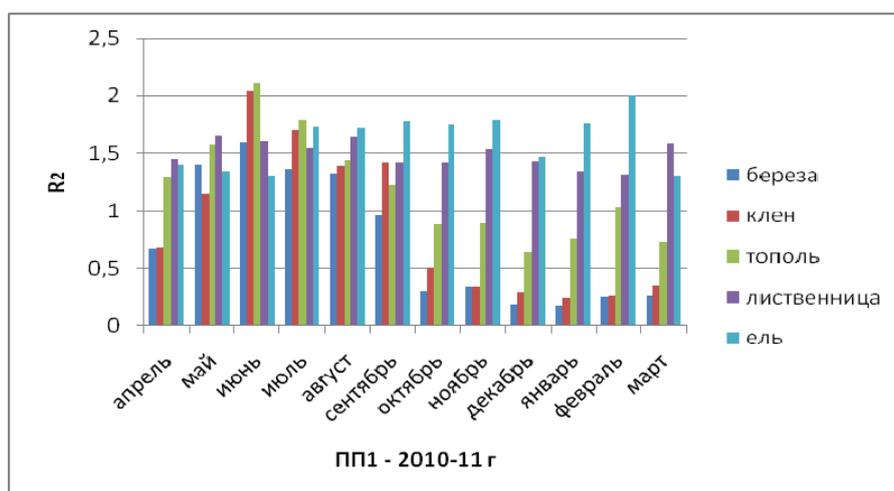
Июль, 2010	Пробная площадь	рН	Электропроводность	Опт.плотность
<b>Тополь</b>	ПП1 "Университет"	5,60±0,10	13,67±1,53	0,06±0,00
	ПП2 "пр.Свободный"	5,83±0,21	21,00±1,00	0,10±0,00
<b>Клен</b>	ПП1 "Университет"	5,20±0,10	11,00±1,00	0,06±0,01
	ПП2 "пр.Свободный"	6,77±0,06	31,00±1,00	0,11±0,06
<b>Береза</b>	ПП1 "Университет"	5,20±0,00	6,67±0,58	0,06±0,01
	ПП2 "пр.Свободный"	5,83±0,15	14,33±1,53	0,12±0,02
<b>Лиственница</b>	ПП1 "Университет"	5,60±0,20	34,67±0,58	0,10±0,00
	ПП2 "пр.Свободный"	6,07±0,15	35,00±2,56	0,34±0,02
<b>Ель</b>	ПП1 "Университет"	5,40±0,00	10,67±0,58	0,15±0,01
	ПП2 "пр.Свободный"	6,13±0,21	44,67±2,52	0,47±0,11

**Таблица 2.** Физико-химический анализ смывов с листьев и хвои деревьев, август 2011

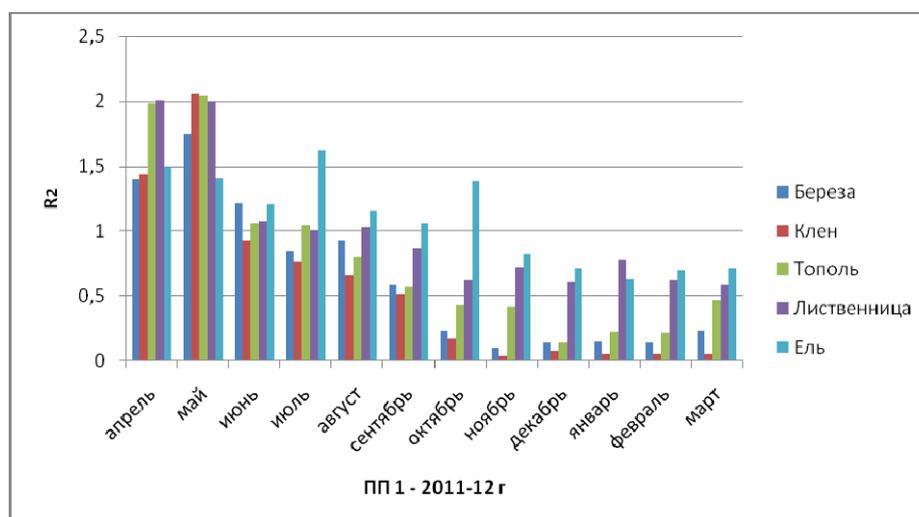
Август, 2011	Пробная площадь	рН	Электропроводность	Опт.плотность
<b>Береза</b>	ПП1 "Университет"	6,57±0,32	33,33±3,21	0,26±0,02
	ПП2 "пр.Свободный"	7,30±0,10	103,67±1,53	0,70±0,02
<b>Ель</b>	ПП1 "Университет"	6,20±0,36	17,33±2,08	0,12±0,00
	ПП2 "пр.Свободный"	7,00±0,10	94,00±2,65	1,16±0,07
<b>Клен</b>	ПП1 "Университет"	6,50±0,20	41,00±4,36	0,17±0,01
	ПП2 "пр.Свободный"	7,53±0,15	64,33±1,53	0,40±0,01
<b>Лиственница</b>	ПП1 "Университет"	6,03±0,23	61,33±1,53	0,78±0,09
	ПП2 "пр.Свободный"	6,73±0,06	131,00±4,58	1,66±0,09
<b>Тополь</b>	ПП1 "Университет"	6,70±0,20	30,67±1,53	0,09±0,01
	ПП2 "пр.Свободный"	6,63±0,06	59,33±2,31	0,42±0,02

По данным, полученным за двухлетний период (рис. 1-2), были показаны достоверные различия показателей R2 на обеих пробных площадях

для хвойных и покрытосеменных видов в зимний период. Значения R2 более 0,5 свидетельствуют о том, что феллодерма лиственницы и ели не переходит в состояние покоя, даже несмотря на суровые зимние условия. Это показано для обеих пробных площадей, вне зависимости от уровня загрязнения. Исходя из этого, можно сделать вывод, что древесные растения, в зависимости от вида, по-разному реагируют на изменения погодных условий и состояния окружающей среды.



А)

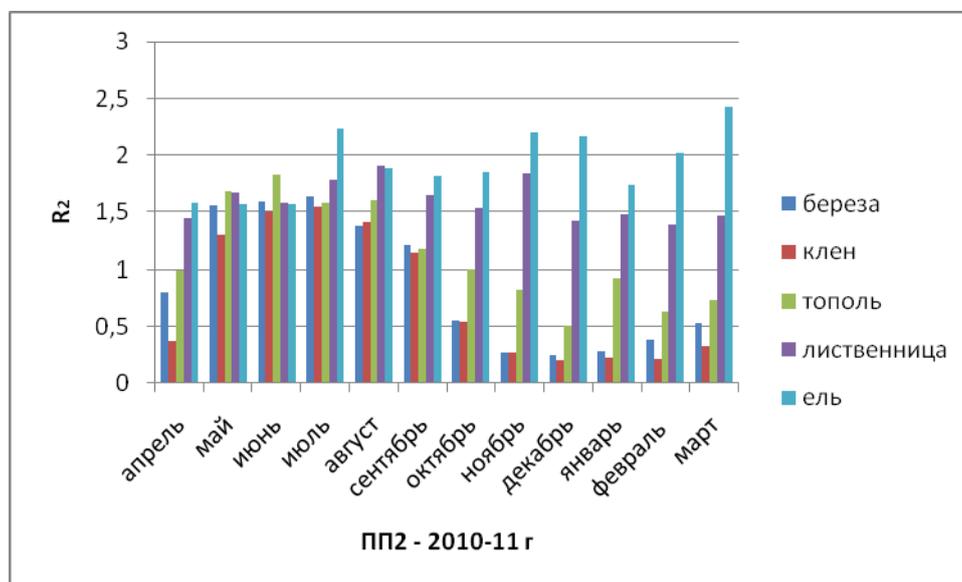


Б)

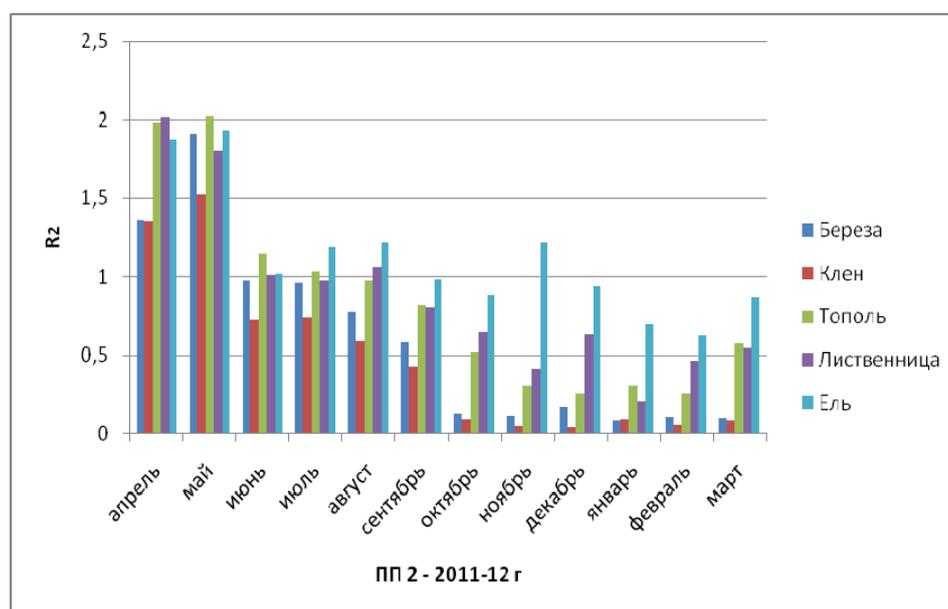
Рис. 1. Динамика изменения величины соотношения низко- и высокотемпературных максимумов (R2) для феллодермы древесных растений из условно чистого района г. Красноярск (ПП1) в период с апреля по март А) 2010-2011 г. Б) 2011-2012 г.

Для количественной оценки влияния загрязнения на состояние растений в работе введен параметр А ( $A=R_o/R_k$ , где  $R_o$  – среднее значение показателя R2 в исследуемых районах;  $R_k$  – среднее значение R2 в контрольном районе), отражающий различия флуоресцентных показате-

лей для контрольной и опытной пробных площадей. В переходные периоды в загрязненных районах уровень отношения  $R_2$  выше по сравнению с более чистыми, таким образом, чем выше значение параметра  $A$ , тем больше выражено влияние атмосферного загрязнения на данный вид растения.



А)



Б)

Рис. 2. Динамика изменения величины соотношения низко- и высокотемпературных максимумов ( $R_2$ ) для феллодермы древесных растений из района г. Красноярска с повышенной техногенной нагрузкой (ПП2) в период с апреля по март  
А) 2010-2011 г. Б) 2011-2012 г.

На основании полученного распределения можно отметить, что для изученных видов более высокая чувствительность наблюдается у хвойных, при этом ель более чувствительна, чем лиственница. Вероятно, это связано с морфоанатомическими характеристиками ели: на протяжении всего года хвоя образует большую площадь поверхности, способной аккумулировать загрязнение из воздушной среды, что совпадает с данными проведенного физико-химического анализа смывов, подтверждающимся на протяжении двух лет. Из изученных видов ель единственная не сбрасывает ежегодно хвою, что также приводит к накоплению загрязняющих веществ. Среди покрытосеменных более высокая чувствительность отмечена для березы.

### **Список литературы**

1. Воробейчик, Е. Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем / Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садыков, М. Г. Фарафонов. – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994, – 280 с.
2. А.С. 1358843 Российская Федерация. Способ определения степени глубины покоя древесных растений / Н. А. Гаевский, Г. А. Сорокина, А. В. Гехман, С. А. Фомин, В. М. Гольд. – 15.08.87.
3. Сезонные изменения фотосинтетического аппарата древесных и кустарниковых растений / Н.А. Гаевский, Г.А. Сорокина, В.М. Гольд, И.В. Миролубская // Физиол. раст. – 1991. – Т. 38. Вып. 4. – С. 685-692.

УДК 574. 2, 581. 1

## **ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО ПОКОЯ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

**И.В. Масенцова**

**Научный руководитель Н.В. Пахарькова**  
*Сибирский федеральный университет*

Климатические условия среды являются важным фактором, определяющим рост и распространение различных представителей растительного мира, при этом видовые особенности растений играют большую роль на всех этапах их индивидуального развития.

В лесах умеренной зоны зимние отрицательные температуры вынуждают древесные растения переходить в состояние зимнего покоя, регуляция этого перехода осуществляется в результате изменения фотопериода и температуры. В условиях изменения климата возможно уменьшение глубины зимнего покоя, а, следовательно, повреждение растений во время

зимних оттепелей [1]. Поэтому весьма актуальной становится проблема оценки внутривидовых различий в устойчивости растений к неблагоприятным факторам.

Целью данной работы являлось изучение фотосинтетической активности и структурной организации пигментного аппарата у растений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), относящихся к трем разным климатипам.

Объектами исследований являются 35-летние географические культуры сосны обыкновенной, растущие в Приангарье (Богучанский лесхоз Красноярского края). Исследования проведены на трех климатипах – Кандалакшском (Мурманская область), Богучанском (Красноярский край) и Балгазинском (Республика Тыва). Побеги сосны были взяты в конце октября 2011 г., в период глубокого, или органического, покоя.

Для оценки состояния покоя в своей работе мы используем метод регистрации термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ), дающий оперативную информацию о физиологическом состоянии фотосинтетического аппарата хлорофилл содержащих тканей растений. Теоретической основой метода является изменение агрегированности составляющих фотосинтетического аппарата, что проявляется в качественном изменении кривых ТИНУФ. В период активного метаболизма на графике регистрируется два пика – низкотемпературный, связанный с активностью хлорофилл-белкового комплекса фотосистемы 2 и высокотемпературный, обусловленный «разгоранием» хлорофилл-белкового комплекса фотосистемы 1 при инактивации её реакционных центров [2, 3]. Регистрацию термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции хлорофилла проводили в диапазоне от 20 до 80°C при скорости нагрева 8 градусов в минуту на флуориметре «Фотон-11», разработанном в СФУ под руководством профессора Ю.С. Григорьева [3].

Количественное определение хлорофиллов проводили в спиртовой вытяжке на спектрофотометре SPEKOL 1300 Analytik Jenna AG с использованием для расчета концентраций пигментов соответствующих формул, данные пересчитаны на сухую массу.

Содержание АБК в хвое определяли методом хромато-масс-спектрометрии на жидкостном хроматографе Agilent 1200 с масс-селективным детектором на основе трех квадруполь 6410.

Результаты регистрации ТИНУФ показали, что представители всех трех климатипов имеют разную глубину зимнего покоя, причем деревья южного климатипа имеют наибольшую глубину органического покоя, а северного – наименьшую (рис. 1).

Известно, что содержание абсцизовой кислоты (АБК) является одним из индикаторов покоя растений. В хвое Балгазинского климатипа количество АБК многократно в 6,4 раза превышает его содержание в хвое Кандалакшского климатипа и в 13,5 раз в хвое Богучанского (рис. 2).

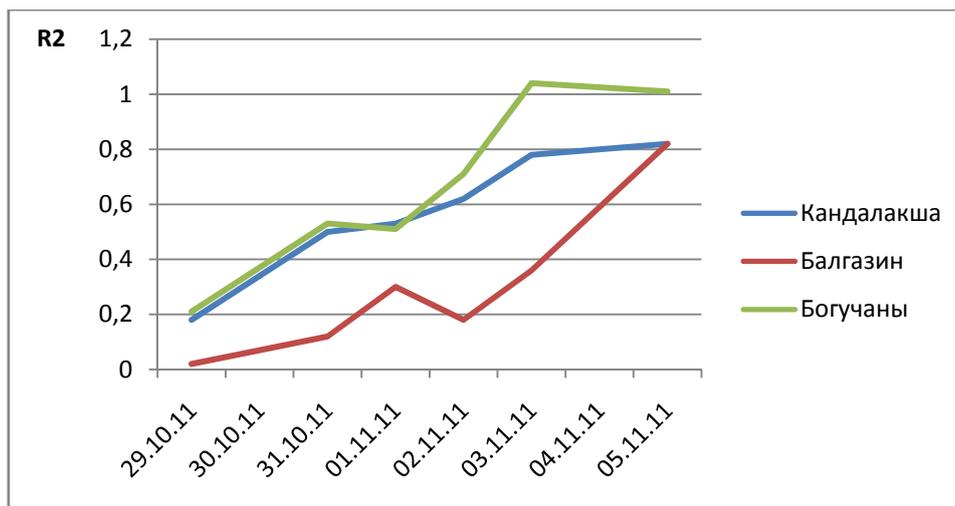


Рис. 1. Динамика коэффициента R2 при выведении из состояния покоя побегов сосны обыкновенной различных климатипов

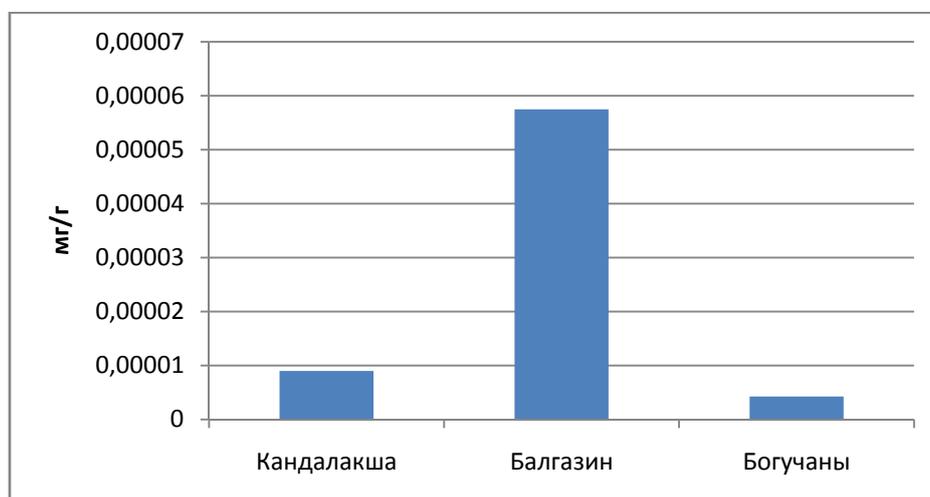


Рис. 2. Содержание абсцизовой кислоты в хвое сосны обыкновенной различных климатипов

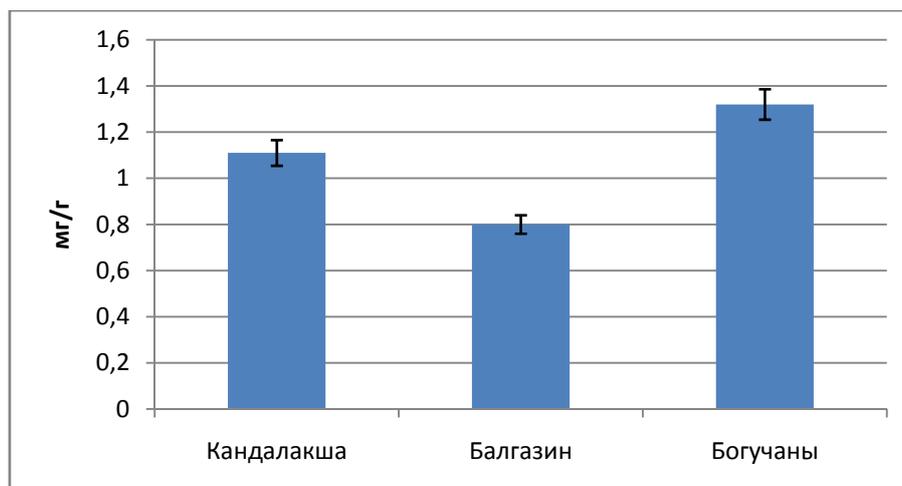


Рис. 3. Суммарное содержание хлорофилла a и b в хвое

Анализ содержания хлорофиллов а и b в хвое (рис. 3) подтверждает представленные выше данные. У растений, эволюционно сформировавшихся в более холодных районах, содержание хлорофилла выше. В совокупности с меньшей глубиной покоя это свидетельствует о более высокой потенциальной готовности растений к возобновлению фотосинтетической активности.

Таким образом, в связи с глобальным потеплением климата, именно северные климатипы становятся наиболее уязвимы к меняющимся условиям. Появление зимне-весенних оттепелей, не характерных ранее для этих районов, является серьезным фактором риска для деревьев с небольшой глубиной зимнего покоя – они, восстанавливая процессы фотосинтеза и транспирации, подвержены опасности иссушения и повреждения хвои при последующем понижении температуры.

### **Список литературы**

1. Состояние пихтово-кедровых лесов природного парка «Ергаки» и их флуоресцентная диагностика / И.Н. Третьякова, Е.В. Бажина, Н.В. Пархарькова, В.Н. Сторожев // Хвойные бореальной зоны. – 2008. – XXV, № 3 – 4. – С. 237- 243.
2. Гаевский, Н. А. Использование переменной и замеленной флуоресценции хлорофилла для изучения фотосинтеза растений / Н.А. Гаевский, В.Н. Моргун // Физиология растений. – 1993. – Т.40, №4. – 589 – 595.
3. Способ определения степени глубины покоя древесных растений / Н. А. Гаевский, Г. А. Сорокина, А. В. Гехман., С. А Фомин., В. М. Гольд. – А. с. № 1358843 от 15 августа 1987 г.

УДК 574.2, 581.1

## **БИОИНДИКАЦИЯ УРОВНЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МЕТОДА**

**К.В. Фидельская**

**Научный руководитель Г.А. Сорокина**

*Сибирский федеральный университет*

Городская среда отличается своеобразием экологических факторов, специфичностью техногенных воздействий, приводящих к значительной трансформации окружающей среды. Растения хотя и подвергаются комплексному химическому, физическому, биогенному воздействию вследствие загрязнения атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, но тем не

менее остаются основным фактором экологической стабилизации городской среды благодаря своей жизнедеятельности, и прежде всего фотосинтезу и способности к аккумуляции загрязняющих веществ.

В настоящее время оценка уровня загрязнения производится главным образом на основе результатов химического анализа. Однако из-за огромного числа самих загрязняющих веществ, источников их выбросов, а также сложности и высокой стоимости анализов организовать эффективный экологический мониторинг только средствами аналитической химии практически невозможно.

Важнейшей составной частью экологического мониторинга окружающей природной среды является биомониторинг — система наблюдений, оценки и прогноза различных изменений в биоте, вызванных факторами антропогенного происхождения. Основной задачей биологического мониторинга является наблюдение за уровнем загрязнения биоты, с целью разработки систем раннего оповещения, диагностики и прогнозирования.

Одним из методов оценки влияния загрязнителей на состояние растений является изучение их перехода в состояние покоя и выхода из него с использованием метода регистрации и анализа термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ), поскольку воздействие загрязнителей может происходить непосредственно на уровне фотосинтетического аппарата. При этом нарушается его структура и способность к функциональным перестройкам, что отражается на флуоресцентных показателях растений.

Объектом исследования служили ткани феллодермы, взятые с neodревесневших побегов тополя бальзамического (*Populus balsamifera*). Образцы отбирались в пределах г. Красноярска с четырёх пробных площадей (ПП), разных по уровню атмосферного загрязнения, три из которых являются территориями, подверженными воздействию загрязнителей достаточно специфичных, ввиду расположения на них промышленных предприятий разного профиля: р-н КрасТЭЦ (ПП<sub>2</sub>), прилегающая территория завода медицинских препаратов «КрасФарма» (ПП<sub>3</sub>) и р-н Предмостной площади (ПП<sub>4</sub>). В качестве условно чистого района выбрана территория парка «Роев ручей» (ПП<sub>1</sub>).

Для подтверждения различий уровня атмосферного загрязнения между исследуемыми пробными площадями был проведен физико-химический анализ смывов с листьев тополя бальзамического в июне 2011 г. (табл. 1).

Полученные результаты показывают снижение рН от 6,2 на ПП<sub>1</sub> до 5,4 на ПП<sub>4</sub>, обусловленное высоким содержанием окислов серы и азота, поступающих в среду в составе выхлопных газов транспорта. Прозрачность растворов уменьшается от ПП<sub>1</sub> к ПП<sub>4</sub> за счет увеличения содержания в воздухе песка, сажи и других нерастворимых частиц. Электропровод-

ность, связанная с увеличением содержания ионов, также растет от ПП<sub>1</sub> к ПП<sub>4</sub>. Таким образом, по данным физико-химического анализа смывов, изученные пробные площади расположились, относительно друг друга, по возрастанию уровня техногенного воздействия следующим образом: район парка «Роев ручей», район КрасТЭЦ, район «Красфарма» и район Предмостной площади.

**Таблица 1.** Результаты физико-химического анализа смывов с листьев тополя бальзамического

Район исследований	pH	Оптическая плотность	Электропроводность
Роев Ручей (ПП <sub>1</sub> )	6,2± 0,1	0,06±0,01	0,17±0,01
КрасТЭЦ (ПП <sub>2</sub> )	6,0± 0,1	0,32±0,01	0,48±0,01
КрасФарма (ПП <sub>3</sub> )	6,0± 0,1	0,34±0,01	0,54±0,01
Предмостная площадь (ПП <sub>4</sub> )	5,4± 0,1	0,40±0,01	0,72±0,01

В качестве показателя состояния растений и глубины покоя использовали отношение интенсивностей флуоресценции ( $R_2 = \Phi_{л_{нт}} / \Phi_{л_{вт}}$ ), соответствующих низкотемпературному и высокотемпературному максимумам на кривой ТИНУФ, а также наглядный вид кривых.

Для количественной оценки влияния уровня воздействия на состояние растений был введен параметр А, который рассчитывали исходя из формулы:  $A = R_0 / R_k$ , где  $R_0$  – среднее значение отношения низкотемпературного к высокотемпературному максимуму в исследуемых районах ( $R_2$ );  $R_k$  – среднее значение отношения низкотемпературного к высокотемпературному максимуму ( $R_2$ ) в контрольном районе.

Основу биоиндикационных исследований с использованием метода регистрации термоиндуцированного изменения нулевого уровня флуоресценции составляет положение о том, что загрязнение атмосферного воздуха сокращает период зимнего покоя древесных растений. Это проявляется в том, что в загрязненных районах уровень показателя  $R_2$  выше по сравнению с чистыми (контрольными районами). Соответственно, чем выше значение параметра А, тем выше уровень атмосферного загрязнения в данном районе.

При изучении четырех районов г. Красноярска с различным уровнем загрязнения атмосферного воздуха максимальные значения параметра А получены для района Предмостной площади, что согласно теоретическим положениям свидетельствует о наиболее высоком уровне атмосферного загрязнения, далее в порядке убывания расположились район КрасФарма, КрасТЭЦ и Роев ручей.

Введение расчетного параметра А позволяет количественно и наглядно оценить сравнительный уровень техногенного воздействия на рас-

тения, произрастающие в условиях различного загрязнения воздушной среды, что позволяет эффективно использовать метод регистрации термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции для распределения районов города по уровню загрязнения.

УДК 574

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ СВЕТОВОГО ДНЯ НА ПЕРЕХОД ХВОЙНЫХ В СОСТОЯНИЕ ЗИМНЕГО ПОКОЯ**

**М.А. Филиппова**

**Научный руководитель Н.В. Пахарькова**  
*Сибирский федеральный университет*

Понижение температуры в осенне-зимний период в условиях умеренного климата является для древесных растений сигналом для начала перехода в состояние зимнего покоя. В растительном организме происходит ряд приспособительных изменений: уменьшение дыхания и активности фотосинтеза, увеличение синтеза АБК и этилена, снижение количества ИУК и гиббереллинов, накопление криопротекторов, выход воды из клеток в межклетники и т.д. Одновременно с понижением температуры окружающей среды происходит уменьшение длины светового дня. Растение воспринимает данное изменение природных условий в совокупности как сигнал перехода в состояние покоя. Но какова взаимосвязь между двумя основными сигналами наступления зимы – температурой и длиной светового дня? Попробуем ответить на эти вопросы с помощью данного исследования.

Для нашего исследования были взяты представители видов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) трех-пятилетнего возраста из рекреационной зоны г. Красноярска (находится на окраине города, отличается умеренным атмосферным загрязнением). Были сформированы четыре группы, которые поместили в различные условия. Первая группа (обозначим ее как контрольную) на протяжении эксперимента находилась в естественных условиях среды (т.е. наблюдалась при закономерном снижении температуры воздуха и уменьшении длины светового дня), вторая была размещена на подоконнике (постоянная комнатная температура и укорочение длины светового дня). Две другие группы были помещены в термостаты с постоянной длиной светового дня в 12 ч и температурой в 0°C и –10°C соответственно.

В начале эксперимента (17.10.11 г.) все деревья находились в состоянии активной вегетации. Наблюдение за состоянием и вхождением в покой осуществлялось методом регистрации термоиндуцированных изменений нулевого уровня флуоресценции (ТИНУФ) на флуориметре «Фотон-11». Нагрев образцов, погруженных в воду, производился в диапазоне от 20 до 85°C. В качестве показателя глубины покоя использовался коэффициент  $R_2$  – отношение интенсивностей быстрой флуоресценции  $F_0$  при 50°C и 70°C (Гаевский, Моргун, 1993).

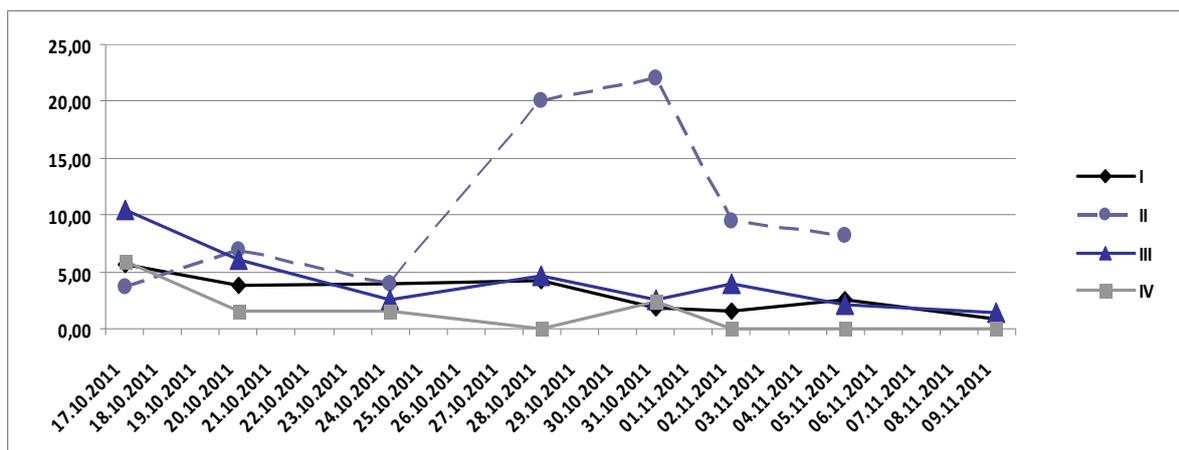


Рис. 1. Значения коэффициента  $R_2$  сосны обыкновенной (I – группа в естественных условиях среды; II – группа, при постоянной температуре +25°C и естественном фотопериоде; III – группа в термостате с температурой 0°C и постоянном фотопериоде; IV – группа в термостате с температурой -10°C и постоянном фотопериоде)

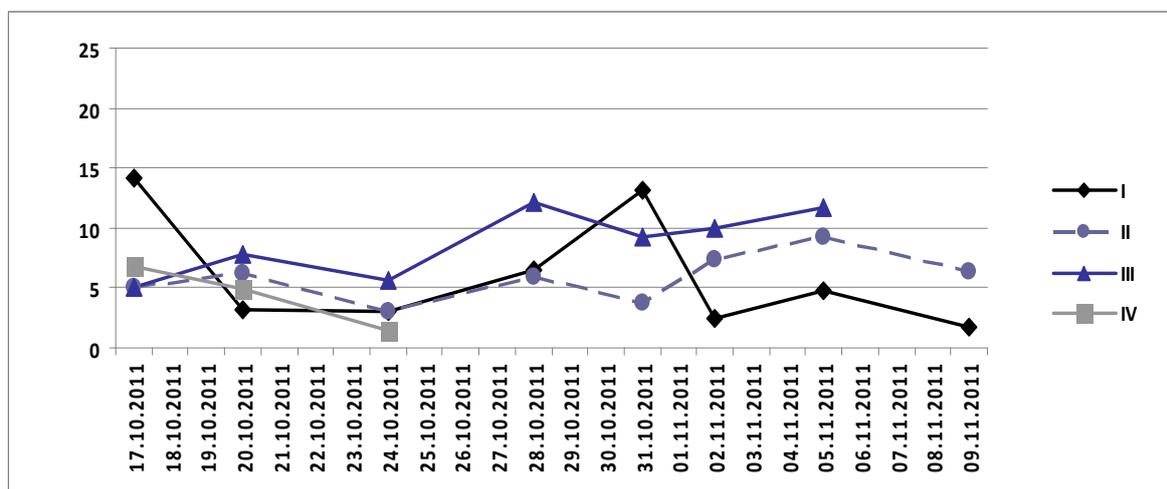


Рис. 2. Значения коэффициента  $R_2$  пихты сибирской (I – группа в естественных условиях среды; II – группа, при постоянной температуре +25°C и естественном фотопериоде; III – группа в термостате с температурой 0°C и постоянном фотопериоде; IV – группа в термостате с температурой -10°C и постоянном фотопериоде)

Эксперимент был завершен 09.11.11 г. После обработки и анализа полученных данных можно сделать вывод, что, несмотря на низкую тем-

пературу, при постоянной длине светового дня (12 ч) оба вида находятся в состоянии предпокоя, но окончательно перейти в состояние покоя не могут из-за искусственного стимулирования фотосинтеза. При более низких температурах ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) и постоянной длине светового дня растения истощают свой запас энергии и погибают. Деревья, находившиеся в естественных условиях, на момент завершения эксперимента были в состоянии перехода в зимний покой. Последняя группа образцов, находившаяся в условиях уменьшения длины светового дня и комнатной температуры, осталась в состоянии активного метаболизма.

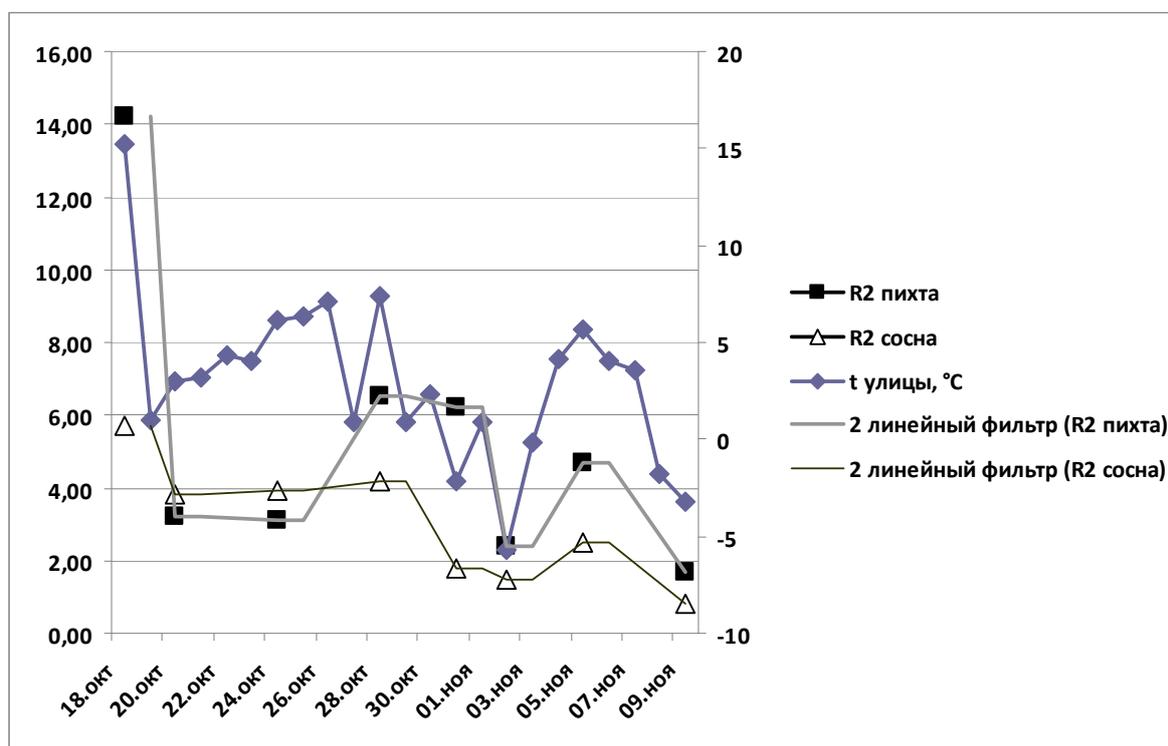


Рис. 3. Значения коэффициента  $R_2$  для уличных деревьев

Сравнивая между собой сосну обыкновенную и пихту сибирскую, можно отметить, что пихте для перехода в покой нужна более низкая температура, также она в это время сильнее зависит от длины светового дня. При нулевой температуре и постоянной длине светового дня получены более высокие значения коэффициента  $R_2$ , чем при комнатной температуре и естественном уменьшении длины дня. На переход сосны в состояние покоя длина светового дня влияет в меньшей степени, а температурный режим остается важным фактором, причем нулевые значения температуры достаточны для снижения коэффициента  $R_2$ , что свидетельствует о готовности к переходу в стадию зимнего покоя. Тем не менее переход в состояние покоя был отмечен у растений, находящихся под влиянием обоих факторов при достижении отрицательных температур. Таким образом, можно говорить о

том, что только одновременное уменьшение длины светового дня и снижение температуры способствуют качественному переходу растения в состояние покоя.

### **Список литературы**

1. Г. Г. Суворова, Л. С. Янькова. Максимальная интенсивность фотосинтеза сосны обыкновенной и ели сибирской в Предбайкалье // Сибирский экологический журнал, 1 (2005) 97 – 108;

2. Якушина Н. И. Физиология растений: учеб. пособие для студ. биол. спец. высш. пед. учеб. заведений / Н. И. Якушина; 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1993. – 335 с: ил.

3. Способ определения глубины покоя древесных растений / Н.А. Гаевский, Г.А. Сорокина, А.В. Гехман, С.А. Фомин, В.М. Гольд; авторское свидетельство №1358843 от 15 августа 1987 г.

4. Нестеренко Т. В. Индукция флуоресценции хлорофилла и оценка устойчивости растений к неблагоприятным воздействиям / Т. В. Нестеренко, А. А. Тихомиров, В. Н. Шихов // Журнал общей биологии. – 2007. – Т. 68. № 6. – С. 444 – 458.

# Биоразнообразиие животного мира

УДК 735.29.(32)

## ДИНАМИКА И ОСНОВНЫЕ ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ЧИСЛЕННОСТИ ДИКИХ КОПЫТНЫХ ТОРГАШИНСКОГО ХРЕБТА

Т.А. Александрова  
Научный руководитель Г.А. Соколов  
Сибирский федеральный университет

Охранная зона заповедника «Столбы», по его северной границе в водоразделе р. Базаихи, является постоянным местом зимней концентрации диких копытных: косули сибирской (*Capreolus capreolus*) и марала (*Cervus elaphus*) (Зырянов, 1983; Суворов, 1989). По материалам заповедника (1949 – 2007 гг.) и собственным данным (2007 – 2011 гг.) прослежена многолетняя динамика численности марала и косули в заповеднике «Столбы» и особенности их сезонного размещения на сопредельной территории.

С начала организации заповедника (1949 г.) на его территории проводились мероприятия по увеличению численности диких копытных. При этом, циклично изменяясь по годам, осенняя численность марала со 180 особей за 35 лет (1950-1985 гг.) выросла до 380 особей, превысив кормовую ёмкость пастбищ (Суворов, 1989). Ограниченность кормовых угодий высотой снежного покрова в вертикальных поясах приводила к скученности животных на зимних низкогорных пастбищах и к деградации растительности. К началу 1990 г. волк в заповеднике стал охраняемым видом, как результат – в начале 1990 г., ослабленная популяция маралов стала быстро уменьшаться. К 1995 г. в заповеднике обитало чуть более сотни маралов. (Зырянов, Кожечкин, 1996). В 2000 г. восстановилась кормовая емкость зимних оленьих пастбищ. Однако общая их площадь за последние 15 лет сильно сократилась за счет хозяйственного освоения лесов охранной зоны (рис.1).

Настоящее осеннее обилие марала в заповеднике остаётся неизвестным, поскольку уже 20 лет по организационно-экономическим причинам здесь не проводились его учёты на «рёве». По приблизительным оценочным данным «Летописи природы» осенняя численность марала заповедника «Столбы» в последние годы (2008-2010) не превышает 150 особей, зимняя – 90 особей, т.е. 40 % от его поголовья зимует на сопредельных слабо охраняемых территориях.

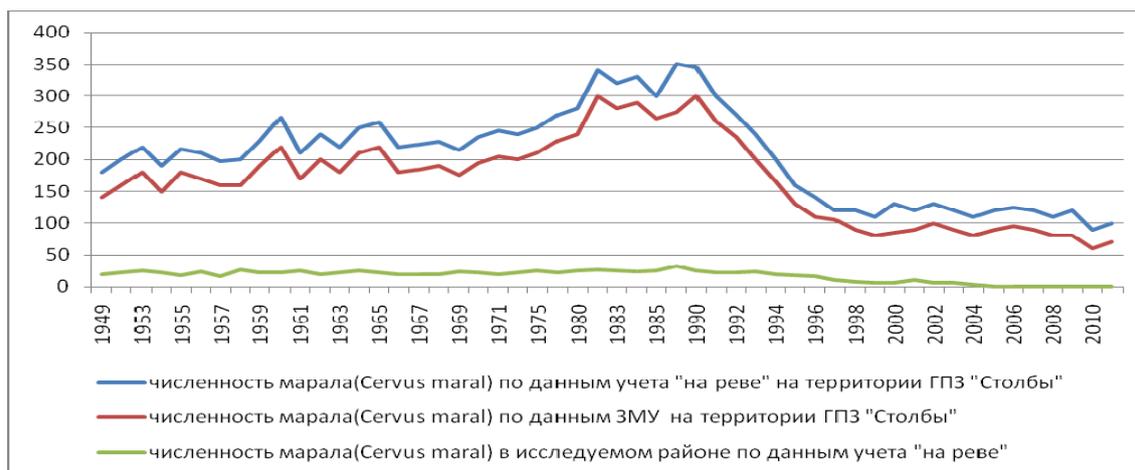


Рис. 1. Динамика численности поголовья марала (*Cervus elaphus*) в разные годы по литературным данным (Зырянов, 1975; Суворов, 1989, 2004), материалам «Летописи природы» ГПЗ «Столбы» и наблюдениям авторов

В районе исследований в долине р. Базаихи и в сопредельных пригородных лесах косуля всегда была обычным видом – основным объектом добычи браконьеров, бродячих и одичавших собак. Основное зимнее поголовье косули обитает не в заповеднике, а в его охранной зоне по правобережью р. Базаихи. По многолетним наблюдениям А.П. Суворова численность косули здесь в первой половине зимы в среднем составляет 40–50 голов, по заповедному левобережью – не более 30. Даже при массовом истреблении косули собаками ранней весной 2010 г. осенью её поголовье здесь практически восстановилось за счёт подхода зверей с Канской котловины (рис. 2).

По данным единовременного учёта в феврале 2011 г. численность диких копытных в заповеднике «Столбы» составила: косули 20, марала – 60 особей (личное сообщение зоолога В.В. Кожечкина). При этом не были исследованы сопредельные территории заповедника – основные места зимней концентрации косули и марала. Так в феврале 2010 г. при численности косули в 30 особей только установленная весенняя смертность этого оленя превысила 50 особей (по данным «Летописи природы»).

По данным осенних и зимних единовременных учетов, проводимых в заповеднике «Столбы» численность копытных разнится более чем в два раза. В связи с многоснежьем среднегорной тайги происходит перемещение копытных в низкогорье и долину р. Базаихи. Однако в последнем десятилетии здесь происходит уменьшение площадей их зимних кормовых станций из-за дачного строительства и ухудшения условий среды обитания оленей. Основная часть популяции косули и марала заповедника проводят зимовки за его пределами, и многие копытные по различным причинам антропогенного характера назад не возвращаются, что подтверждено данными по численности и смертности копытных в заповеднике «Столбы».

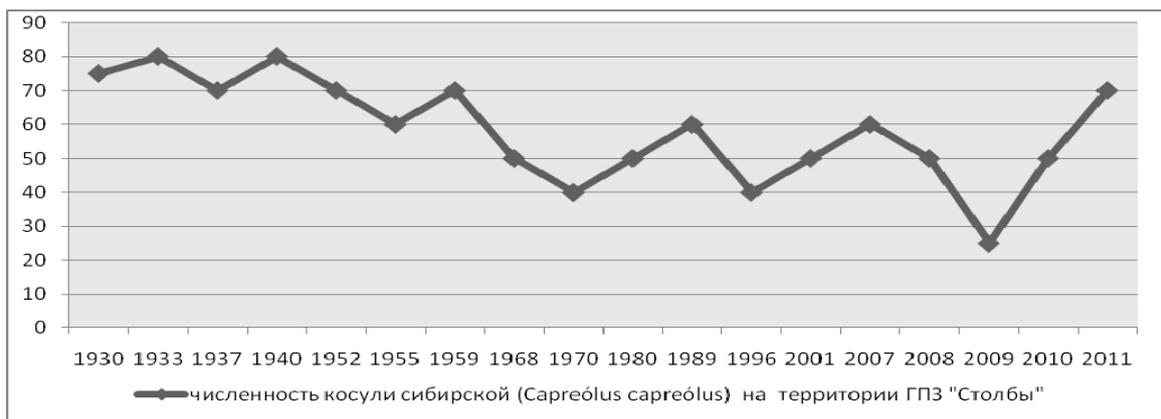


Рис. 2. Многолетняя динамика численности косули сибирской по материалам «Летописи природы» ГПЗ «Столбы»

Это послужило основанием для нашей работы. На заповедной территории между пос. Мраморный карьер и кордоном Намурт (устье кл. Кочевный) и на сопредельной ей территории охранной зоны, нами было заложено три контрольных учётных маршрута (протяжённостью 13; 10 и 8 км), ограничивающих контуры трёх различных по размерам и биотопам площадей. Первая площадка включает территорию заповедника по его границе вдоль р. Базаихи, она представлена террасными зеленомошничково-разнотравными сосново-елово-пихтовыми лесами до 1,5 км. Вторая площадь находится в пойме р. Базаихи в смешанном разнотравном лесу из берёзы, осины, ели, сосны с густым подлеском из ивы, черёмухи, ольхи. Третья площадь – территория охранной зоны по правобережью р. Базаихи, включающая смешанные разнотравные сосново-берёзово-осиновые разреженные леса, крутые южные степные склоны с выходами скальных пород; низкогорные разнотравные сосново-березово-осиновые леса Торгашинского плато (рис.3). В пределах общей пробной площади (10 км<sup>2</sup>) с ноября по март нами проводились учёты численности оленей на постоянных маршрутах и пробных площадках (Насимович, 1963). Дополнительные наблюдения проходили в летнее время. На трёх постоянных маршрутах отслеживалось перемещение копытных, по следам, пересекающим маршрут, устанавливалась давность прохождения, видовая принадлежность зверей, направление их перехода, количество особей в группе. Определялось, сколько оленей за сутки пересекло участок либо осталось внутри нее и количество особей, вернувшихся в заповедник на дневной отдых.

В связи с ранней весной 2012 г. сезонные и суточные перемещения диких копытных в охранную зону ГПЗ «Столбы» носили несколько иной характер по сравнению с прошлыми годами. В охранной зоне в местах зимовок мы стабильно встречали следы копытных. В зимние месяцы благодаря достаточно малой глубине снега (порядка 30-40 см на разных высотах) олени легко убегали от преследующих их собак, свободно перемещались по территории при усиливающейся антропогенной нагрузке в выход-

ные дни. Подход сибирской косули с Канской котловины наблюдался менее интенсивно чем в предыдущие годы. Прослеживалась тенденция к равномерному распределению копытных по району исследования, за исключением площадки №2, (рис. 4). Характерные для косули в 2011 г. суточные перемещения из заповедника на степные склоны Торгашинского плато и обратно наблюдались редко. В марте косули стали постоянно выходить на первые проталины на южных склонах для выпаса и даже оставались на днёвках в зарослях кустарников по логом крутых склонов. Здесь их численность достигала порядка 20 особей.

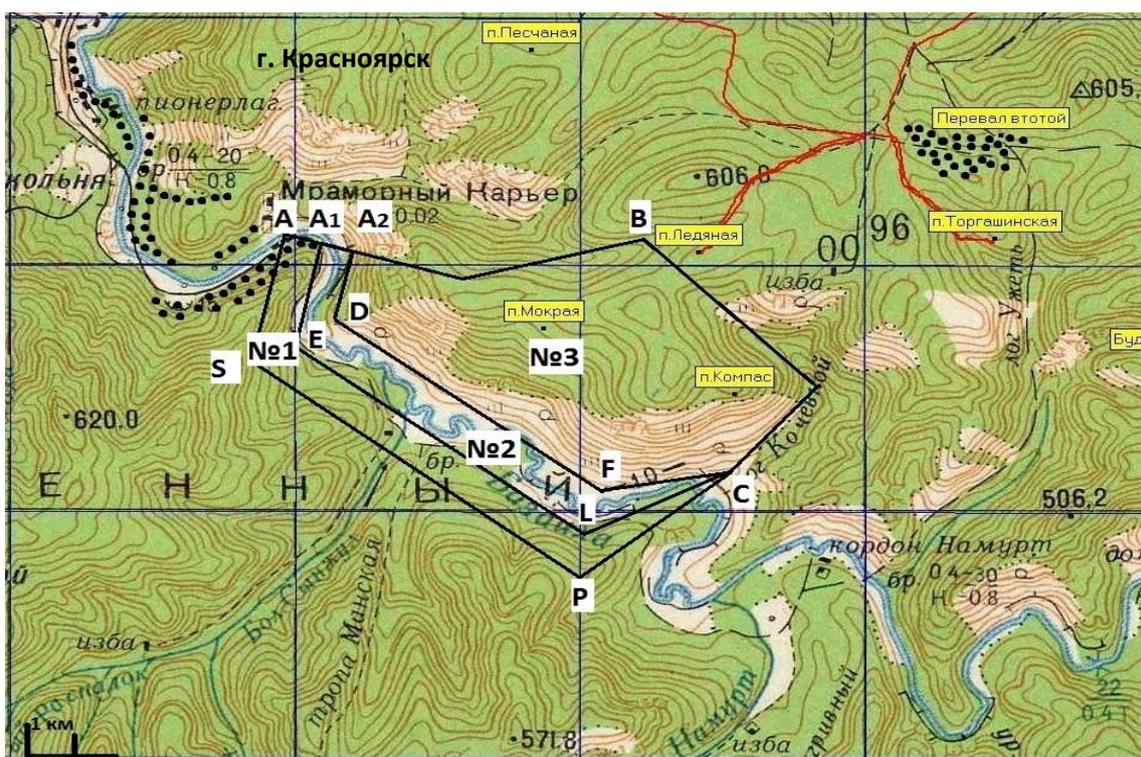


Рис. 3. Схема района исследования: пробные площадки №1 (ASPCLEA<sub>1</sub>), №2 (A<sub>1</sub>ELCFDA<sub>2</sub>), №3 (A<sub>2</sub>DFCB); контрольные учётные маршруты: первый – A<sub>1</sub>ELC, второй – A<sub>2</sub>DFC, третий – A<sub>2</sub>BC

После схода снега весной 2011 г. нами на контрольных маршрутах был проведён учёт фекальных кучек, оставленных оленями с окончания листопада, и рассчитана относительная численность зимующей косули. По расчётным данным на зимовках 2011 г. в районе наших исследований обитало 50-60 косуль.

Марал в охранной зоне ГПЗ «Столбы» обитает постоянно, но численность его не высока. Так, в ноябре – декабре наблюдались переходы маралов (до пяти особей) из заповедника на малоснежное Торгашинское плато, где они обитали несколько дней, но из-за беспокойства браконьерами и собаками возвращались обратно в заповедник. В заповеднике в это время постоянно обитало 7-9 особей.

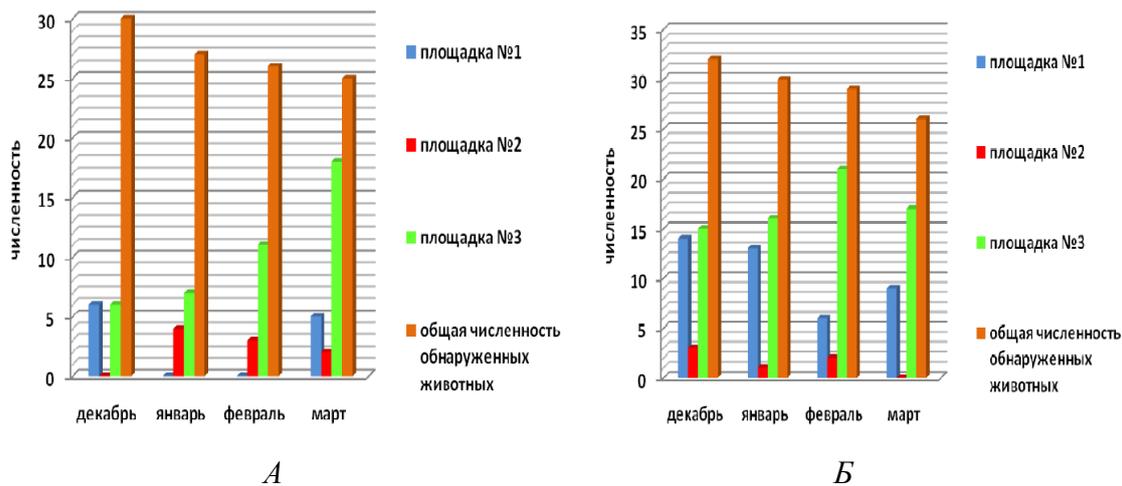


Рис. 4. Сезонное распределение косули сибирской в утренние часы:  
 А – в 2011 г., Б – в 2012 г.

В январе-феврале из-за сильного беспокойства собаками, браконьерами, гулом снегоходной техники марал лишь временно пребывал на Торгашинском плато. В марте отмечались проходы одиночных особей и пар марала через реку в охранную зону без возврата назад в заповедник. В период с ноября по март в выходные дни регистрируются порядка 5-7 перемещений снегоходов по границе заповедника, распугивающих диких копытных в долине р. Базаихи. Установлены случаи ночного отстрела диких копытных. Накатанные снегоходами лыжни способствуют проникновению в заповедник и в его охранную зону бродячих и одичавших собак.

В летнее время косуля и марал равномерно концентрируются как в заповеднике, так и на сопредельных территориях. В охранной зоне заповедника «Столбы» копытные рассредоточиваются на кормовых и воспроизводственных станциях в пойме р. Базаихи и по правобережному Торгашинскому плато от Мокрого лога до Чёрной сопки. В июне-июле здесь нами зарегистрировано три встречи самок с телятами.

Уменьшение численности марала и косули в заповеднике «Столбы» обусловлено не воздействием хищничества волка, а всё возрастающим негативным воздействием на состояние популяций копытных антропогенных факторов: браконьерства, хищничества собак. Освоение земель дачными постройками может привести к уничтожению постоянных зимних и летних пастбищ косули и марала и уменьшению их численности. Для сохранения мест зимовок и воспроизводства марала и косули необходимо ввести запреты на использование здесь вездеходной техники.

### Список литературы

1. Зырянов А.Н. Дикие копытные животные заповедника «Столбы» и прилегающих районов / А.Н. Зырянов // Вопросы экологии /Тр. заповед. «Столбы», вып. 10. – Красноярск. – 1975. – С. 224-333.

2. Зырянов А.Н. Бродячие и одичавшие собаки в окрестностях Красноярска / А.Н. Зырянов // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1983. – Т. 88. – Вып 1. – С. 39-44.

3. Суворов А.П. Марал в заповеднике «Столбы» и проблемы его хозяйственного использования в Красноярском крае / А.П. Суворов // Современное состояние компонентов биогеоценозов заповедника «Столбы». – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1989. – С. 35-66.

4. Суворов А.П. Проблемы рекреации и дачного освоения в охранной зоне заповедника «Столбы»/ А.П. Суворов, Т.А. Суворова, Д.Е. Каримов. – Красноярск, 2010.

УДК 598

## РУКОКРЫЛЫЕ ОЗЕРА ИТКУЛЬ

**Д.Ф. Афтохудинова**

**Научный руководитель Г.А. Соколов**

*Сибирский федеральный университет*

Рукокрылые (Chiroptera Blumenbach, 1779) – отряд, относящийся к классу млекопитающие. Отряд включает в себя два подотряда – настоящие летучие мыши (Microchiroptera) и крыланы (Megachiroptera).

В подотряде крыланов всего одно семейство, а в подотряде летучих мышей — 16 семейств. Крыланы обитают только в тропической и субтропической зонах Восточного полушария: в Азии, Африке и Океании. Водятся от Западной Африки до Филиппин, Самоа и Каролинских островов; на севере ареал отряда доходит до низовьев Нила (Египет), Сирии, Южного Ирана и Южной Японии. В России летучие мыши отсутствуют.

Настоящие летучие мыши распространены очень широко, кроме тундры, приполярных районов и некоторых океанических островов. В России представлены всего три семейства: Подковоносые (Rhinolophidae); Свободнохвостые или Бульдоговые (Molossidae) и Гладконосые (Vespertilionidae). В Хакасии же встречаются рукокрылые только семейства Vespertilionidae.

Летучие мыши играют важную роль в поддержании экологического баланса на планете. Во-первых, они являются энтомофагами, а следовательно, защищают урожай от насекомых. Во-вторых, виды, питающиеся пыльцой и нектаром цветов, усердно опыляют растения и распространяют семена. Однако летучие мыши также являются переносчиками опасных для человека инфекций и паразитов (таких, как бешенство, блохи и клещи).

Данная работа актуальна в связи с малоизученностью сибирских видов рукокрылых, ввиду их особенности биологии (ночной образ жизни, визуальное сходство некоторых видов) и технической сложности изучения, так как для большинства видов постоянными убежищами являются малодоступными для человека. Из-за усилившегося в последние годы антропогенного влияния на убежища рукокрылых идет резкое уменьшение их численности.

В связи с этим большинство видов нуждаются в особой охране и должны быть занесены в Красные книги разных регионов.

Работы проводились на кластерном участке «Озеро Иткуль», который является частью государственного природного заповедника «Хакасский». Площадь участка — 6,2 тыс. га. Само озеро – это крупный пресный водоем площадью 2,3 тыс. га., вода которого считается самой чистой из всех озер Хакасии, и этот водоем обеспечивает питьевой водой курорт озера Шира и поселок Жемчужный. Берега озера Иткуль большей частью пологие, западный и юго-западный берега заболочены, здесь в озеро впадает р. Карыш и два ручья. Территория заповедного участка являет собой редкое сочетание практически всех степных растительных сообществ Хакасии.

Рельеф холмисто-сопочный с обширными равнинными долинами. Участок включает в себя не только окрестности озера, но и большую часть его акватории, куда входят ещё три небольших слабоминерализованных Спиринских озёр. На участке представлены все степные растительные сообщества Хакасии от опустыненных до луговых. По северным склонам развиты суходольные луга, а также небольшие лиственничные и берёзово-лиственничные колки и заросли степных кустарников. Здесь присутствуют достаточно подходящие станции для обитания летучих мышей в летний период.

При изучении рукокрылых были использованы такие методы, как:

- отлов летучих мышей в убежищах;
- метод снятия морфометрических параметров;
- метод мечения кольцами;
- метод отлова с помощью паутиной сети;
- метод сбора эктопаразитов.

Отлов рукокрылых проводился в заброшенном холодильнике рыбозавода, расположенном на берегу в 10 м от озера Иткуль. В нем обнаружена многочисленная группа особей. Зверьки располагались по 15-20 особей между бетонными плитами на потолке. Из них было отловлено и окольцовано 18 зверьков – 10 самок и 8 самцов. Одна самка оказалась со следами лактации. Нами определено два вида ночниц: Брандта (*Myotis brandtii* Eversmann, 1845) – 16 особей (8 самцов и 8 самок) и прудовой (*Myotis dasycneme* Voie, 1825) – 2 самки. Ранее на данном участке было выявлено

обитание колоний двух видов ночниц: прудовой и водяной (*Myotis daubentoni* Kuhl, 1817). Снятые морфометрические параметры соответствуют литературным источникам. Все особи осмотрены на наличие эктопаразитов, произведено их очесывание. Сравнивая полученные результаты с данными прошлых лет [3], когда было выявлено обитание водяной и прудовой ночниц, видовой состав заброшенного холодильника изменился.

### Список литературы

1. Наземные звери России / И.Я. Павлинов, С.В. Крускоп, А.А. Варшавский, А.В. Борисенко. – М.: Изд-во КМК, 2002. – 298 с.
2. Ефанова Н.А. Рукокрылые, зимующие в пещерах западной части Восточного Саяна / Н.А. Ефанова // Экология Южной Сибири. – Абакан, 2001.- Т.1.- С. 86-87.
3. Природный комплекс и биоразнообразие участка «Озеро Иткуль» запо-ведника «Хакасский» / Коллектив авторов. Под ред. В.В.Непомнящего. – Абакан: Хакасское книжное издательство, 2010. – 418 с.
4. Кожурина Е.И. Конспект фауны рукокрылых России: систематика и рас-пространение / Е.И. Кожурина // *Plecotus et al.* №11-12. – М., 2009. – С. 71-105.

УДК 598.252.2

## ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ (ООПТ) ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ ГУМЕННИКА В ТАЙГЕ ЛЕВОБЕРЕЖЬЯ ЕНИСЕЯ

**И.В. Семёнов**

**Научный руководитель В.И. Емельянов**  
*Сибирский федеральный университет*

В настоящее время сохранение и поддержание популяций водоплавающих птиц, в особенности гуменника (*Anser fabalis* Lath), на стабильном уровне не возможно без создания системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) различного уровня. Важнейшей составляющей данной работы является выявление водно-болотных угодий (ВБУ), играющих ключевую роль в поддержании жизнеспособности водоплавающих птиц, как «местных», так и пролётных видов и популяций.

Бассейну таёжного левобережья Енисея до последнего времени уделялось недостаточно внимания по выявлению там важных водно-болотных

угодий. В настоящем сообщении приводится один из вариантов сети таких местообитаний, позволяющих сохранить уникальные группировки западного таёжного гуменника (*A. f. fabalis* Lath.) в енисейской средней и северной тайге.

Материал для настоящей публикации собран в результате полевых работ в весенне-летне-осенний период с 1996 по 2011 гг. по стандартным методикам.

В рамках развития и совершенствования сети ООПТ в районах интенсивного освоения Красноярского края предлагаем следующие особо ценные природные территории.

1. Комплексный природный заказник **«Вороговское многоостровье»**. Площадь 35,5 тыс. га. Водно-болотное угодье международного значения (теневого список). Уникальный район концентраций водно-болотных птиц во время их сезонных миграций (250,0 тыс. и более особей), значимый воспроизводственный участок водоплавающих птиц в бассейне Енисея. Пойменный комплекс островов, мелководий и прибрежных болот. Высокое разнообразие птиц. Концентрации лебедя-кликун, и гусей и уток на пролете. Места обитания охотничьих и редких видов, находящихся под угрозой исчезновения (краснозобая казарка, малый лебедь, скопа, орлан-белохвост и др.).

2. Комплексный природный заказник **«Канготовские протоки»**. Площадь 175,5 тыс. га. Уникальный пойменный и водно-болотный комплекс на Нижнем Енисее. Значимый воспроизводственный и предотлетный участок водоплавающих (гагары, утки, гуси) и околоводных (кулики, чайки) птиц, важный промежуточный пункт их остановок во время сезонных миграций. Места обитания и встреч на пролете редких и малочисленных видов птиц (лебеди – малый и кликун, комплексный природный заказник предполагаемой клоктун, орлан-белохвост, сапсан и др.). Важнейший район концентраций западного таежного гуменника (весной до 15,0 тыс. одновременно). В августе на песках скапливаются стаи до 300-500 особей. В осенний период отмечаются остановки тундрового гуменника.

3. Государственный биологический заказник **«Лазорева протока Енисея и о-в Большое Конощелье»** государственный биологический заказник предполагаемой площадью 10 тыс. га. Крупнейший район летне-осенних концентраций таежного гуменника (до 2000 особей, одновременно), концентрации уток, редкие виды птиц.

4. Государственный биологический заказник **«Островной комплекс Черноостровский»**. Площадь 5 тыс. га. Уникальный пойменно-островной комплекс Нижнего Енисея. Важнейший участок предотлетных скоплений местных популяций таежного гуменника (0,5-1,0 тыс. особей), речных и нырковых уток (до 10,0 тыс. особей), также чаек, крачек, гагар. Важное место остановок арктических мигрантов (кулики, гуси) в периоды их се-

зонных миграций. Местообитание редких видов птиц (скопа, орлан-белохвост, клоктун).

5. Комплексный природный заказник **«Советские озера»**. Площадь 400 тыс. га. Уникальный водно-болотный комплекс в южной лесотундре и крайней северной тайге енисейского левобережья, с большим числом озер и речных систем бассейнов рек Турухана и Таза. Участок повышенной численности лебедя-кликун на гнездовании и в период пролета. Воспроизводительный район гуменника, различных видов уток, гагар, куликов и чаек. Значимый участок обитания редких видов: орлана-белохвоста, скопы, сапсана, кречета, краснозобой казарки, малого лебедя и др.

6. Государственный биологический заказник **«Нижне-Баихинский»**. Площадь 50 тыс. га. Тундро-болотные водораздельные ландшафты, пойменные комплексы с лесными темнохвойными сообществами и озерными системами в пределах северной енисейской тайги. Местообитания ценных в хозяйственном отношении (глухарь, тетерев, рябчик, белая и тундряная куропатки, водоплавающие птицы) и редких (лебедь-кликун, скопа, орлан-белохвост, сапсан и др.) видов птиц. Важнейший воспроизводительный участок западного таёжного гуменника, его значительные концентрации в период весенних миграций и на линьке достигают 50,0 тыс. особей.

7. Государственный биологический заказник **«Тым-Сымское междуречье»**. Площадь 162,4 тыс. га. Водораздельные озерно-болотные пространства и северо-западный участок бассейна находится в зоне влияния западного миграционного потока, по которому летят многочисленные виды уток (шилохвость, чирок-свистунок, хохлатая чернеть, гоголь, турпан, частью морянка, средний крохаль, луток). Пролетают довольно оживленные трассы малого лебедя, лебедя-кликун и западного таежного, и западного тундрового гуменников. Здесь же мигрируют отдельные стаи белолобых гусей и черной казарки. Через верхний бассейн Сыма проходит один из наиболее значимых в Азии пролетных путей малого лебедя, где по экспертной оценке пролетает до 4-5 тыс. малых лебедей и 10-12 тыс. гуменников.

Предлагаемый перечень особо охраняемых территорий является одним из вариантов сети резерватов, позволяющих сохранить воспроизводительное ядро популяций западного таёжного гуменника в тайге левобережной части Енисея.

# Проблемы водных и наземных экосистем

УДК 594 (571.51)

## ВИДОВОЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ИСКОПАЕМЫХ МОЛЛЮСКОВ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ КРАСНОЯРСКОЙ И МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИН

Д.Е. Болкунова

Научные руководители Г.Ю. Ямских, Н.В. Лебедева

*Сибирский федеральный университет*

Моллюски – одни из представителей биоты, получившие свое максимальное развитие в голоцене. Малакофаунистический анализ – один из палеозоологических методов, использующийся для палеоэкологических реконструкций природной среды голоцена [1]. Сведения, полученные в результате детального изучения распространения моллюсков, используются для стратиграфии, так как фауна голоценовых моллюсков помогает восстановить палеобиотические события и экологические особенности среды их обитания.

Палеомалакофауна слабо изучена на территории Красноярского края. Подобные исследования проводились только на территории Красноярской и Минусинской котловин [2].

Целью данной работы является сопоставление видового разнообразия и морфологических особенностей ископаемых моллюсков из разнотетических отложений Красноярской и Минусинской котловин.

Палеонтологический материал был собран из пойменных отложений Красноярской котловины (разрезы «Базаиха» и «Березовка») и торфяных отложений Минусинской котловины (разрезы «Ермолаево», «Зарничный», «Знаменка», «Ивановка», «Иджа», «Каптырево», «Тигрицкое»). При определении видов моллюсков использовались работы В. И. Жадина, И. М. Лихарева и Е. С. Раммельмейера, А. А. Шилейко, А. Ф. Санько [3 – 5].

Видовое разнообразие ископаемых моллюсков Красноярской и Минусинской котловин представлено в табл. 1.

На основании проведенных исследований, были определены 21 вид пресноводных моллюсков, которые относятся к двум классам шести семействам, и 14 видов наземных видов ископаемых моллюсков, которые относятся к одному классу, шести семействам.

**Таблица 1.** Видовое разнообразие ископаемых моллюсков Красноярской и Минусинской котловин

№	Название вида	Красноярская котловина		Минусинская котловина						
		Базаиха	Березовка	Ермолаево	Зарничный	Знаменка	Ивановка	Иджа	Каптырево	Тигрицкое
<b>Моллюски пресных водоемов</b>										
Семейство Pisidiidae Gray in Turton, 1857										
1	<i>Pisidium amnicum</i> (Muller, 1774)	+	+							
Семейство Euglesidae Pirogov et Starobogatov, 1974										
2	<i>Conventus urinator</i> (Clessin, 1876)					+	+	+	+	+
Семейство Lymnaeidae Rafinesque, 1815										
3	<i>Lymnaea (Radix) peregra</i> (Müller, 1774)	+	+	+	+	+	+		+	+
4	<i>Lymnaea (Galba) corvus</i> (Gmelin, 1791)		+							
5	<i>Lymnaea (Galba) truncatula</i> (O.F. Muller, 1774)			+			+			+
6	<i>Lymnaea (Ompiscula) glabra</i> (O.F. Muller, 1774)			+						
7	<i>Lymnaea occulta</i> (O.F. Muller, 1774)		+							
8	<i>Lymnaea (stagnicola) polustris</i> (Müller, 1774)			+	+	+		+	+	+
9	<i>Lymnaea</i> sp.				+			+		
Семейство Physidae Fitzinger, 1833										
10	<i>Aplexa hypnorum</i> (Linné, 1758)		+							
11	<i>Sibirenauta sibirica</i> (Westerlund, 1876)							+		
Семейство Planorbidae Rafinesque, 1815										
12	<i>Anisus spirorbis</i> (Linné, 1758)		+							
13	<i>Anisus leucostoma</i> (Millet, 1813)			+	+					
14	<i>Anisus vortex</i> (Linné, 1758)							+		
15	<i>Anisus contortus</i> (Linné, 1758)				+					
16	<i>Gyraulus gredleri</i> Gredler, 1853			+	+	+	+	+	+	
17	<i>Gyraulus albus</i> (Müller, 1774)	+	+							

18	<i>Gyraulus laevis</i> (Alder, 1838)	+	+							
19	<i>Gyraulus rossmaessleri</i> (Auerswald, 1851)	+	+			+				+
20	<i>Armiger crista</i> (Linné, 1758)							+		
Семейство Valvatidae Gray, 1840										
21	<i>Valvata sibirica</i> (Middendorf, 1851)			+				+	+	
<b>Наземные моллюски</b>										
Семейство Carychiidae Jeffrays, 1830										
22	<i>Carychium minimum</i> (Müller, 1774)	+			+		+			+
Семейство Succineidae Beck, 1837										
23	<i>Succinea putris</i> (Linné, 1758)	+	+				+		+	+
24	<i>Succinea sp.</i>				+					+
25	<i>Oxyloma elegans</i> (Risso, 1826)									+
Семейство Cochlicopidae Pilsbry, 1900										
26	<i>Cochlicopa lubrica</i> (Müller, 1774)	+	+		+		+		+	+
Семейство Pupillidae Turton, 1831										
27	<i>Vertigo modesta</i> (Say, 1824)							+		
28	<i>Vertigo antivertigo</i> (Draparnaud, 1801)	+	+					+		
29	<i>Pupilla muscorum</i> (Linné, 1758)	+	+		+		+			+
Семейство Valloniidae Morse, 1864										
30	<i>Vallonia pulchella</i> (Müller, 1774)	+	+		+	+	+	+		+
31	<i>Vallonia costata</i> (Müller, 1774)	+	+		+			+		
32	<i>Vallonia enniensis</i> (Gredler, 1856)						+			
Семейство Zonitidae Mörch, 1864										
33	<i>Perpolita hammonis</i> (Strom, 1765)	+	+		+		+		+	+
34	<i>Perpolita petronella</i> (Rfeiffer, 1853)						+			+
35	<i>Eucornulus fulvus</i> (Müller, 1774)	+	+				+	+		+

Наибольшее количественное развитие ископаемой малакофауны наблюдается в голоценовых отложениях разреза «Березовка» Красноярской котловины и разрезов «Ивановка», «Иджа», «Зарничный» Минусинской котловины.

Широким распространением в отложениях Красноярской и Минусинской котловин характеризуются такие виды, как *Lymnaea (Radix) peregra* (Müller, 1774), *Succinea putris* (Linné, 1758), *Cochlicopa lubrica* (Müller, 1774), *Pupilla muscorum* (Linné, 1758), *Vallonia pulchella* (Müller, 1774), *Perpolita hammonis* (Strom, 1765). В количественном соотношении, виды *Lymnaea (Radix) peregra* (Müller, 1774), *Vallonia pulchella* (Müller, 1774) являются наиболее многочисленными в ископаемых сообществах как Красноярской, так и Минусинской котловин.

Особенности морфологии ископаемой малакофауны были изучены на основе следующих замеров: ВР – высоты раковины, ВУ – высоты устья, ВЗ – высоты завитка, ШР – ширины раковины, ШУ – ширины устья.

Семейство Lymnaeidae (Rafinesque, 1815): *Lymnaea (Radix) peregra* (Müller, 1774). Раковина яйцевидная, состоит из 3–5 оборотов. Завиток конусовидный, короткий. Последний оборот очень вздут. Устье и высокое, и широкое, его края острые. Ископаемые раковины из отложений Красноярской котловины отличаются меньшими размерами по сравнению с раковинами из отложений Минусинской котловины (ВР<sub>ср</sub> составляет 3,2 мм и 12,6 мм, ШР<sub>ср</sub> – 2 мм и 8,3 мм, ВУ<sub>ср</sub> – 1,9 и 8,1 мм, ШУ<sub>ср</sub> – 1,3 и 6 мм соответственно).

Семейство Succineidae (Beck, 1837): *Succinea putris* (Linné, 1758). Раковина остро яйцевидная. Последний оборот сильно вздут. Завиток короткий; предпоследний оборот слабовыпуклый. Оборотов 3 – 3, <sup>1</sup>/<sub>2</sub>, реже 4. Устье яйцевидной формы, наверху с острым углом. Ископаемые раковины данного вида практически не отличаются в размерах (ВР<sub>ср</sub> – 3,5 и 3,9 мм, ШР<sub>ср</sub> – 2,5 и 2,4 мм, ВУ<sub>ср</sub> – 2,3 и 3,1 мм, ШУ<sub>ср</sub> – 1,7 и 2 мм).

Семейство Cochlicopidae (Pilsbry, 1900): *Cochlicopa lubrica* (Müller, 1774). Раковина яйцевидно-коническая. Завиток высокий и тупой. Оборотов 5 <sup>3</sup>/<sub>4</sub> – 6 слабо выпуклых, шов неглубокий. Устье овальное. Раковины из отложений Красноярской и Минусинской котловин различаются, но не существенно (ВР<sub>ср</sub> – 4,2 и 6 мм, ШР<sub>ср</sub> – 2,1 и 2,6 мм, ВУ<sub>ср</sub> – 1,7 и 2, ШУ<sub>ср</sub> – 1,3 и 1,4 мм соответственно).

Семейство Pupillidae (Turton, 1831): *Pupilla muscorum* (Linné, 1758) характеризуются яйцевидно-цилиндрической раковинкой с округлой верхушкой. Оборотов 6 – 6,5, слабо выпуклых, разделенных неглубоким швом. Последний оборот на затылке с крупным гребнем. Раковины из отложений Красноярской и Минусинской котловин различаются, но не существенно (ВР<sub>ср</sub> – 2,3 и 3,1 мм, ШР<sub>ср</sub> – 1,5 и 1,9 мм, ВЗ<sub>ср</sub> – 1,6 и 2,3 мм соответственно).

Семейство Valloniidae (Morse, 1864): Раковина вида *Vallonia pulchella* (Müller, 1774) низко-коническая. Оборотов 3 <sup>1</sup>/<sub>4</sub> – 4. Устье практически круглое; места прикрепления сближены. Края устья отвернуты, с белой губой. Ископаемые раковины данного вида различаются только в размерах устьевой части (ВР<sub>ср</sub> – 1,4 и 1,2 мм, ШР<sub>ср</sub> – 2,5 и 2,3 мм, ВУ<sub>ср</sub> – 0,9 и 1,7 мм, ШУ<sub>ср</sub> – 1 и 1,9 мм).

Семейство Zonitidae (Mörch, 1864): *Perpolita hammonis* (Strom, 1765). Раковина выпуклая, низко-коническая. Оборотов 3,5 – 4, слабо выпуклые. Устье удлиненно-овальное, косое и оттянуто вниз. Пупок довольно широкий. Раковины из отложений Красноярской котловины отличаются меньшими размерами по сравнению с раковинами из отложений Минусинской котловины (ВРср – 1 и 2 мм, ШРср – 2,1 и 3,5 мм, ВУср – 0,9 и 1,6 мм, ШУср – 1 и 1,9 мм соответственно).

### Список литературы

1. Lozek V. Quartarmollusken der Tschechoslowakei. / V. Lozek. – Praha, 1964. – 362 с.
2. Лебедева Н. В. Моллюски голоцена Южно-Минусинской котловины: автореф. дис. канд. к.г.-м. наук: 25.00.02 / Н. В. Лебедева. – Томск, 2011. – 26 с.
3. Жадин В. И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. / В. И. Жадин. – М.: изд. АН СССР, 1952. – 377 с
4. Лихарев И. М. Наземные моллюски фауны СССР / И. М. Лихарев, Е. С. Раммельмейер. – М.: АН СССР, 1952. – 511 с.
5. Санько А. Ф. Четвертичные пресноводные моллюски Беларуси и смежных регионов России, Литвы, Польши: атлас-определитель / А. Ф. Санько. – Мн.: Инст. Геохимии и геофизики НАН Беларуси, 2007. – 156 с.

УДК 574.42

## ДИНАМИКА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ И КРУПНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКАХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

**А.В. Махныкина, О.В. Сергеева**  
**Научные руководители С.В. Верховец, И.Н. Безкоровайная**  
*Сибирский федеральный университет*

Настало время, когда накопленные данные наук о Земле позволяют более глубоко взглянуть на происходящие глобальные изменения в природе, переосмыслить их масштабы и роль в стабильном развитии цивилизации [8].

Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата сфокусировали внимание исследователей на оценке продуктивности и бюджета углерода различных типов наземных экосистем. Интенсивная проработка проблемы до сих пор не привела к формированию согласованной точки зрения на пространственное распределение наземных стоков и источников углерода [1].

Требования международных климатических соглашений по построению кадастров парниковых газов обусловили особую актуальность оценок углеродного бюджета лесов крупнорегионального и национального уровней, при этом подчеркивается важность исследований углеродного цикла в бореальных лесах и их вклада во взаимодействия биосферы и атмосферы [2, 3]. Лесные экосистемы бореальной зоны представляют собой огромный резервуар аккумуляции атмосферного углерода в подземной и надземной фитомассе и почве [4].

В мировой литературе отсутствуют общепризнанные оценки не только углеродного бюджета лесов России, но и его отдельных статей [5]. Приводимые показатели стока углерода в бореальные леса России изменяются в широких пределах, что объясняется как большим разнообразием российских лесов по составу, структуре и продуктивности, так и недостатком, а часто и полным отсутствием региональных оценок баланса углерода [7].

Целью настоящей работы являлось определение динамики запасов углерода в фитомассе и крупных древесных остатках в сосновых насаждениях Кеть-Сымской низменности в пределах лишайникового типа леса.

Исследования проводились по следующей методике. Пробная площадь разбивалась на три концентрических круга, радиусы которых составляли 3,5 м, 7,5 м и 15,0 м. Перечет древостоя в первом круге – сплошной, во втором и третьем – выборочный. В первом круге минимальная длина окружности деревьев, принимаемая в перечет, – 10 см, во втором – 30 см, в третьем – 60 см. Перечет осуществлялся от направления на север, с указанием породы дерева, азимута, дистанции от центра пробной площади до дерева, длины окружности на высоте 1,3 м, высоты, повреждений. Сухостойные деревья также учитывались. Измерение общей высоты древостоя и сухостоя проводилось с использованием высотомера-дальномера «Vertex». Фитомассу живого напочвенного покрова (травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы) определяли методом укосов с 10 площадок размером 0,03 м<sup>2</sup>.

На каждой пробной площади в радиусе 7,5 м проводился сплошной учет валежа и пней отдельно по породам. У валежа измерялись длина и диаметры двух противоположных концов, у пней учитывалась высота и два диаметра: на высоте спила (или слома) и у шейки корня, у сухостоя – высота и диаметр на высоте 1,3 м. Объем валежника и пней рассчитывался по формуле объема усеченного конуса. Запас органического вещества рассчитывали как произведение плотности и объема древесных остатков, по классам разложения. Для расчета минерализационного потока при разложении крупных древесных остатков для сосняков лишайникового типа леса использовались константы разложения, полученные для данной территории О. В. Трефиловой [6].

По результатам наших исследований и исследований ИЛ СО РАН, общий запас углерода фитомассы для сосняков лишайниковых варьирует от 0,2 до 62,2 т С га<sup>-1</sup>, с минимумом в низкополнотных насаждениях, пройденных вырубками главного пользования, и максимумом в высокополнотных насаждениях. Максимальное значение общего запаса фитомассы наблюдается в приспевающих древостоях – 120 т га<sup>-1</sup>. Основная часть фитомассы древостоя – до 65 % – приходится на стволовую древесину.

Запас крупных древесных остатков (валежник, пни, сухостой) в лишайниковых сосняках изменяется от 0,02 до 34,83 т С га<sup>-1</sup> и составляет в среднем 10,11 т С га<sup>-1</sup>. Наибольший средний запас крупных древесных остатков сконцентрирован в молодняках и составляет 14,04 т С га<sup>-1</sup>. Основная часть этого запаса наследуется от предшествующего насаждения. Запас КДО в средневозрастных и приспевающих сосняках снижается за счет разложения наследуемых остатков до 4,87-7,52 т С га<sup>-1</sup>, возрастая по мере старения и распада древостоя до 11,34 – 11,50 т С га<sup>-1</sup>. Изменение запасов КДО по возрастным стадиям носит форму U-образной кривой.

Минерализационный поток при разложении крупных древесных остатков для сосняков лишайниковых в среднем равен 0,18 т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>. Наибольшей интенсивностью потоков характеризуются молодняки – 0,24 т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>, а также спелые и перестойные насаждения – 0,21 т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>. Наименьшие потери углерода при разложении крупных древесных остатков наблюдаются в средневозрастных насаждениях – 0,08 т С га<sup>-1</sup> год<sup>-1</sup>.

По итогам нашей работы можно сделать следующие выводы. Общий запас углерода фитомассы для сосняков лишайниковых варьирует в широких пределах, что свидетельствует о высокой мозаичности растительного покрова исследуемой территории, а также о существенных различиях в биометрических показателях древостоев на заложенных нами пробных площадях. Запас крупных древесных остатков (валежник, пни, сухостой) также имеет широкий диапазон значений. Наибольший средний запас крупных древесных остатков сконцентрирован в молодняках, наименьший – в средневозрастных насаждениях. Мы выяснили, что молодняки, а также спелые и перестойные насаждения, характеризуются наибольшей интенсивностью минерализационных потоков. Это связано с тем, что в молодняках основная часть потока углерода образуется за счет разложения унаследованных запасов крупных древесных остатков, а в спелых и перестойных – за счет распада современного насаждения.

### Список литературы

1. Вамперский, С. Э. О неопределенностях углеродного цикла экосистем / С. Э. Вамперский //Резервуары и потоки углерода в лесных и болотных экосистемах бореальной зоны. Международная научная конференция. – Сыктывкар, 2011. – С. 25-26.

2. Замолодчиков, Д. Г. Динамика пулов и потоков углерода на территории лесного фонда России / Д. Г. Замолодчиков [и др.] // Экология. – 2005. – № 5. – С. 323-333.
3. Замолодчиков, Д. Г. Оценка пула углерода крупных древесных остатков в лесах России с учетом влияния пожаров и рубок / Д. Г. Замолодчиков // Лесоведение. – 2009. – № 4. – С. 3-15.
4. Климченко, А. В. Аккумуляция углерода в валежнике лиственничников северной тайги и Средней Сибири / А. В. Климченко // Лесное хозяйство. – 2005. – №5. – С. 33-34.
5. Кондратьев, К. Я. Глобальный круговорот углерода: состояние, проблемы и перспективы / К. Я. Кондратьев, В. Ф. Крапивин // Исследование Земли из космоса. – 2004. – № 3. – С. 12-21.
6. Трефилова, О. В. Интенсивность гетеротрофного дыхания в сосняках средней тайги: сравнительный анализ методов оценки / О. В. Трефилова // Хвойные бореальной зоны. – Красноярск, 2007. – № 4–5. – С. 467–473.
7. Уткин, А. И. О вкладе лесов России в глобальный углеродный цикл / А. И. Уткин, Д. Г. Замолодчиков, О. В. Милова // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: материалы всероссийской конф. – Красноярск, 2004. – С. 212-215.
8. Халилов, Э.Н. Первый Доклад Председателя Международного Комитета по Проблемам Глобальных Изменений Геологической Среды “GEOCHANGE”, 30.06.2010. // GEOCHANGE IC GCGE. – 2010.

УДК 330.15:339.5(571.51/.52)

**ЛАНДШАФТНЫЙ ПРОФИЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ  
НИЗКОГОРНОЙ ГРЯДЫ «ДОЛГАЯ ГРИВА»  
(ОКРЕСТНОСТИ Г. КРАСНОЯРСКА)**

**Э.В. Спиридонова**  
**Научный руководитель М.Л. Махлаев**  
*Сибирский федеральный университет*

При изучении природных ландшафтов очень важно выявить характер влияния отдельных компонентов ландшафта друг на друга и выделить ведущие компоненты, в наибольшей мере определяющие лицо ландшафта. В последние годы комплекс разнообразных ландшафтных исследований выполнен в восточной части низкогорной гряды «Долгая грива», расположенной на левобережье Енисея у западной окраины Красноярска. Но пока

на первом этапе исследований в основном изучались отдельные компоненты ландшафта – геологический субстрат, природные воды, почвы, растительность [1, 3]. Теперь, когда собрано много материалов, пришло время перейти к следующему этапу – установлению взаимосвязей между компонентами.

Обобщив имеющиеся материалы, мы пришли к выводу, что в конкретных природных условиях участка «Долгая грива» ведущую роль приобретают геологические факторы. Во-первых, сама литогенная основа – то есть комплекс слагающих участков горных пород и морфология слагаемых ими геологических тел. Во-вторых, протекающие в ландшафтах современные природные геологические процессы.

«Литогенная основа» традиционно понимается как инертный компонент ландшафта. Но эта инертность бывает весьма относительна. В любом ландшафте протекают разнообразные природные процессы, в том числе и геологические. И пусть скорость этих процессов невелика в сравнении, к примеру, с процессами биогенными, их следствием тоже являются непрерывные изменения в ландшафте. Поэтому современные природные геологические процессы, в первую очередь экзогенные, тоже считаются важным фактором в формировании ландшафтов. И без их учёта невозможно понять закономерности функционирования природных геосистем. В основу изучения взаимодействия между компонентами ландшафта на исследуемом участке нами положен комплекс картографических методов. Среди них один из наиболее эффективных – ландшафтное профилирование. В качестве опорного мы выбрали профиль, пересекающий гряду «Долгая грива» в её средней части в поперечном направлении, с юга на север. Вдоль линии профиля выделяется три ландшафтные области с различным характером рельефа: низкогорная субширотная гряда «Долгая грива» со своими отрогами (средняя часть и почти весь север), террасовый комплекс р. Енисей (южную часть территории), предгорная равнина (примыкает с севера к подножью «Долгой гривы», открывается в сторону Западно-Сибирской низменности). Гряда «Долгая грива» и террасы Енисея рассечены многочисленными глубоко врезанными логами, созданными эрозионной деятельностью постоянных (реки и ручьи) и временных водотоков. Линия профиля, пересекающая среднюю часть территории, была выбрана таким образом, чтобы захватить все наиболее характерные ландшафты и элементы рельефа (рис). Ландшафтный профиль пересекает две ландшафтные местности: террасовый комплекс, низкогорную гряду и выходит на третью – предгорную равнину. Непрерывные наблюдения вдоль линии профиля дополнены разрозненными данными по его флангам, где локально встречаются разновидности горных пород и почв, линией профиля не подсечённые.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

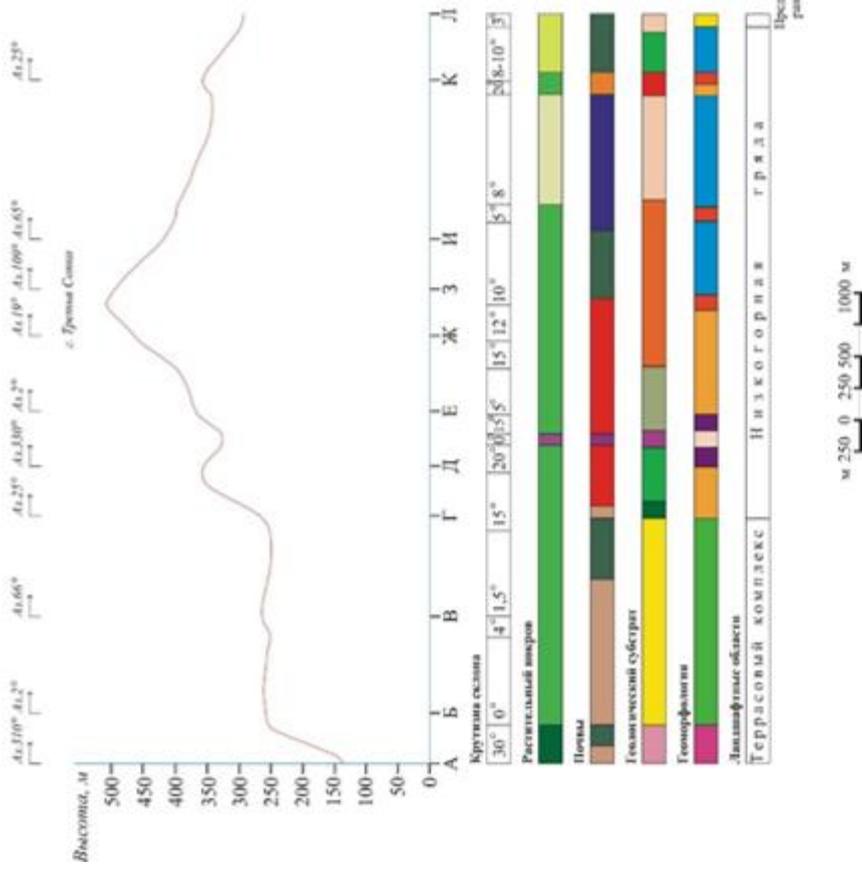
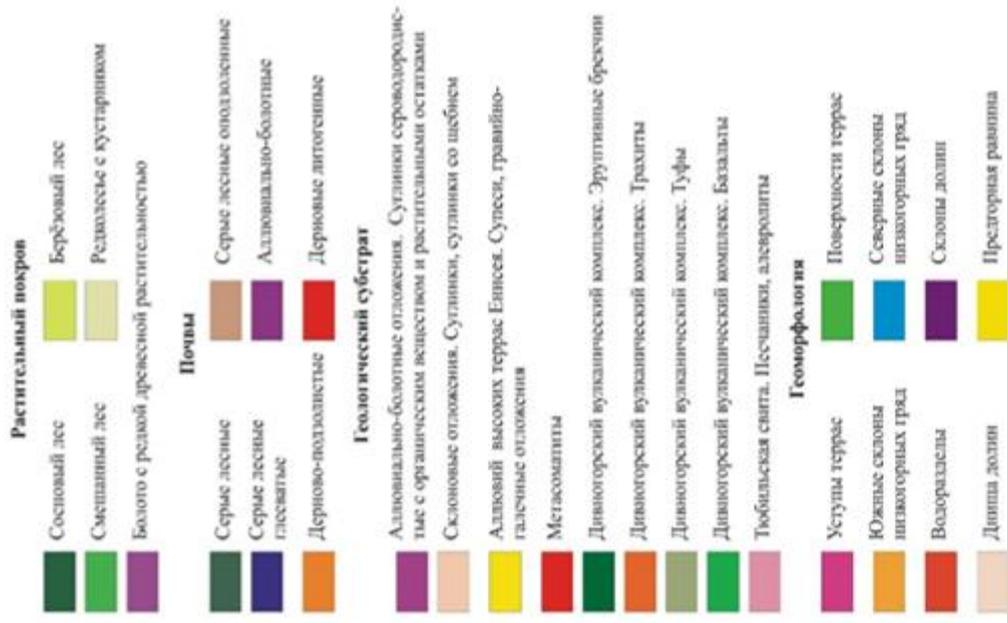


Рис. Ландшафтный профиль через центральную часть низкогорной гряды «Долгая грива»

Основные элементы рельефа террасового комплекса – это уступы и поверхности террас. Поверхности террас ровные, выположенные или слабо наклонённые в сторону Енисея. Склоны террас представляют собой крутые высокие уступы, обращённые к югу. Уступы террас сложены древними осадочными породами: песчаниками и алевролитами тубильской свиты венда. На поверхности террас наблюдаются четвертичные отложения – аллювий, представленный рыхлыми супесями и гравийно-галечными отложениями. В почвенном покрове террасового комплекса преобладают серые лесные почвы. На отдельных участках они в разной степени оподзолены.

Процессы оподзоливания проявлены на склонах южной экспозиции или на выровненных поверхностях. На песчано-глинистом субстрате уступов террас сформированы сосняки, а на супесях и гравийно-галечных отложениях поверхности террас – смешанный лес. Основные элементы рельефа гряды «Долгая грива» – низкогорные гряды, долины и водоразделы. По профилю выделяется южный макросклон гряды «Долгая грива», водораздел и северный макросклон. Кроме того, профиль пересекает долину ручья, глубоко врезающую в южный макросклон гряды. Здесь выделяются два крутых склона и плоское днище долины. Геологический субстрат разнообразен [3]. На разных участках он сложен разными скальными породами или рыхлыми отложениями. Низкогорная гряда сложена по большей части породами вулканического происхождения. Здесь различаются застывшие лавовые потоки базальтов и трахитов, слои вулканических туфов дивногорского вулканического комплекса. Геологический субстрат южных макросклонов – эруптивные брекчии, базальты, туфы и трахиты. Склоны долины ручья, врезающего в макросклон, сложены базальтами и туфами. Днище долины покрыто аллювиально-болотными отложениями – сероводородистыми суглинками с органическим веществом и растительными остатками. На субстрате подножья южного макросклона сформированы серые лесные оподзоленные почвы. На крутых участках, где обнажены устойчивые к физическому выветриванию вулканические породы – дерновые литогенные почвы. По днищу долины ручья формируются аллювиально-болотные почвы. Основная растительность южного макросклона – смешанный лес (сосна, берёза, иногда осина) с редким подлеском. В долине ручья на аллювиально-болотных почвах – болото с редкой древесной растительностью. Вершина г.Третья Сопка (водораздел) и верхняя часть северного макросклона сложены трахитами дивногорского вулканического комплекса. На спуске северный макросклон покрыт плотными склоновыми суглинками, продуктом химического выветривания вулканических пород. На небольшом участке северного макросклона, так называемой Малой гряде, вулканические породы изменены деятельностью термальных вод и превращены в метасоматиты. Далее по профилю, вплоть до выхода на предгорную равнину, почвообразующие субстраты сложены базальтами.

На почвообразующем субстрате северного макросклона сформированы в основном серые лесные почвы. Ниже по склону начинается обводненный участок, где идут процессы оглеения, и формируются серые лесные глееватые почвы. Растительность по линии профиля в основном лесная. Преобладает смешанный лес (сосна, берёза, иногда осина) с редким подлеском. На обводнённых участках склонов – редколесье с кустарником (ива, черёмуха). Дерново-подзолистые почвы были обнаружены лишь на одном небольшом участке – на осевой части Малой гряды. Предгорная равнина покрыта склоновыми отложениями: суглинками, местами суглинками со щебнем. На данном почвообразующем субстрате формируются серые лесные почвы. Растительный покров этой территории – березовый лес. Весьма разнообразны на участке и современные геологические процессы [2]. При этом безоговорочно доминируют эрозионно-денудационные процессы, а из них наиболее разнообразны склоновые. Аккумуляция преобладает лишь у подножья наиболее крутых склонов, на выположенных участках долин водотоков, в болотах и искусственных водоёмах (прудах). Анализ взаимоотношений между компонентами природной среды показывает, что влияние геологического субстрата на остальные компоненты весьма разнообразно. При этом оно может иметь как прямой, так и косвенный характер. Прямое влияние оказывается в наибольшей мере на формы рельефа, что прямо связано с устойчивостью различных горных пород к выветриванию. Например, уступы террас, сложенные коренными породами тубильской свиты, имеющие преимущественно алевролитовый состав, при выветривании легко распадаются в мелкий щебень, и здесь формируются задернованные склоны средней крутизны. Крутые склоны, покрытые крупнощебнистыми осыпями, с большим количеством мелких выходов коренных пород и слабым развитием растительного покрова образуются на участках развития отложений преимущественно песчанистого состава. Массивная текстура и светлая окраска органогенных карбонатных отложений унгутской свиты обеспечивают их устойчивость к физическому выветриванию, и здесь формируются крупные скальные выходы. Эти породы также подвержены карстованию. Устойчивость к выветриванию вулканических пород, слагающих гряду «Долгая грива», в большой мере зависит от экспозиции склона. На сухих склонах южной экспозиции, где преобладает физическое выветривание, базальты, устойчивые к нему, поэтому, образуют высокие скальные выходы. На северных склонах, при господстве химического выветривания, напротив, формируются пологонаклонные поверхности, покрытые глинистыми продуктами выветривания. Устойчивые к обоим типам выветривания трахиты и сиенит-порфиры закономерно слагают осевую часть хребта «Долгая грива». Прямое влияние на почвообразование наблюдается на склонах южной экспозиции, сложенных относительно устойчивыми породами, где образуются различные виды литозёмов, на уча-

стках развития карботатных пород, где формируются рендзины. Сложенные базальтами северные склоны, подверженные химическому выветриванию и покрытые тяжёлыми суглинками, служат субстратом для формирования серых лесных почв. Дерновые почвы развиваются на легко подверженных дренированию участках поверхности террас, покрытых супесями и лёгкими суглинками. Процессы оподзоливания выявлены на участке развития метасоматоза, где повышена кислотность почвообразующего субстрата при окислении сульфидов. Современные денудационные геологические процессы в наибольшей мере влияют на устойчивость ландшафтов. Наиболее динамичные изменения свойственны склонам, где проявлены современные десперсионные, дефлюкционные и деляпсионные процессы. На режим поверхностных и подземных вод влияют совместно два геологических фактора: состав горных пород и интенсивность эрозионных процессов, обеспечивающих вскрытие водоносного горизонта. При их совмещении образуются многочисленные родники, питающие ручьи и реки, а также приуроченные к верховьям ряда долин болотам с их специфическим комплексом растительности и тёмногумусово-глеевыми почвами.

### **Список литературы**

1. Демьяненко, Т.Н. Почвы полигона ландшафтно-экологического мониторинга «Долгая грива» / Т.Н. Демьяненко, М.Л. Махлаев, О.Ю. Перфилова // География и геоэкология Сибири. Материалы всероссийской научно-практической конференции, посвящённой Всемирному дню Земли, году учителя-2010 в рамках национальной образовательной инициативы «Наша новая школа». Красноярск, 22 апреля 2010 г. Выпуск 5. Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2010. – С. 38-43.

2. Махлаев, М.Л. Проявления современных природных геологических процессов на полигоне ландшафтно-экологического мониторинга «Долгая грива» / М.Л. Махлаев, О.Ю. Перфилова, Ю.С. Батин // География и геоэкология Сибири. Материалы Всероссийской научной конференции, посвящённой Дню Земли и 100-летию Тунгусского феномена. Выпуск 3. Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2008. – С. 125-130.

3. Перфилова, О.Ю. Ордовикская вулканно-плутоническая ассоциация Качинско-Шумихинской депрессии / О.Ю. Перфилова, М.Л. Махлаев // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири. Материалы юбилейной научно-практической конференции, г. Красноярск, 25-26 марта 2010 г. – Красноярск, 2010. – С. 240-246.

Научное издание

**Молодёжь и наука**  
**Том 2**

Отв. за выпуск Олег Альбертович Краев

Редакционно-издательский отдел БИК СФУ  
Компьютерная верстка И.В. Гревцовой

Подписано в печать 27.08.2012. Формат 60x84/16.

Бумага тип. Печать офсетная.

Усл. печ. 22,81. Тираж 200 экз. Заказ 8457.

Редакционно-издательский отдел  
Библиотечно-издательского комплекса  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79  
Тел/факс (391) 206-21-49, e-mail: [rio@lan.krasu.ru](mailto:rio@lan.krasu.ru)

Отпечатано полиграфическим центром  
Библиотечно-издательского комплекса  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а  
Тел/факс (391)206-26-58, 206-26-49  
E-mail: [print\\_sfu@mail.ru](mailto:print_sfu@mail.ru); <http://lib.sfu-kras.ru>