ISSN 1998-1643

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Научный журнал

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

(продолжение журнала 1947–1975 гг.)

№ 2 (139). Март, 2014

Серия: Естественные и технические науки

Главный редактор
А. В. Воронин, доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора
В. Б. Акулов, доктор экономических наук, профессор
Э. В. Ивантер, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН
В. С. Сюнёв, доктор технических наук, профессор

Ответственный секретарь журнала
Н. В. Ровенко, кандидат филологических наук

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, без разрешения редакции запрещена.
Статьи журнала рецензируются

Адрес редакции журнала
185910, Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33.
Тел. (8142) 76-97-11
E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrsu.ru

© ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ)», 2014

Редакционный совет

В. Н. БОЛЬШАКОВ
доктор биологических наук,
профессор, академик РАН (Екатеринбург)

И. П. ДУДАНОВ
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАМН (Петрозаводск)

В. Н. ЗАХАРОВ
доктор филологических наук, профессор (Москва)

А. С. ИСАЕВ
доктор биологических наук,
профессор, академик РАН (Москва)

МАРЕК ВОХОЗКА
доктор экономических наук
(Чешские Будейовицы, Чешская Республика)

Н. Н. МЕЛЬНИКОВ
доктор технических наук,
профессор, академик РАН (Апатиты)

И. И. МУЛЛОНЕН
доктор филологических наук,
профессор (Петрозаводск)

В. П. ОРФИНСКИЙ
доктор архитектуры, профессор,
действительный член Российской академии
архитектуры и строительных наук (Петрозаводск)

ПААВО ПЕЛКОНЕН
доктор технических наук,
профессор (Йоенсуу, Финляндия)

И. В. РОМАНОВСКИЙ
доктор физико-математических наук,
профессор (Санкт-Петербург)

Е. С. СЕНЯВСКАЯ
доктор исторических наук,
профессор (Москва)

СУЛКАЛА ВУОККО ХЕЛЕНА
доктор философии, профессор
(Оулу, Финляндия)

Л. Н. ТИМОФЕЕВА
доктор политических наук,
профессор (Москва)

А. Ф. ТИТОВ
доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН (Петрозаводск)

МИЛОСАВ Ж. ЧАРКИЧ
ведущий профессор Сербской
Академии наук и искусств (Белград, Сербия)

Р. М. ЮСУПОВ
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН (Санкт-Петербург)

Редакционная коллегия серии
«Естественные и технические науки»

О. Ю. БАРЫШЕВА
доктор медицинских наук (Петрозаводск)

А. Е. БОЛГОВ
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор (Петрозаводск)

В. В. ВАПИРОВ
доктор химических наук, профессор (Петрозаводск)

Т. О. ВОЛКОВА
доктор биологических наук (Петрозаводск)

Е. Ф. МАРКОВСКАЯ
доктор биологических наук,
профессор (Петрозаводск)

А. Ю. МЕЙГАЛ
доктор медицинских наук, профессор (Петрозаводск)

Н. Н. НЕМОВА
доктор биологических наук,
профессор, член-корреспондент РАН (Петрозаводск)

В. И. ПАТЯКИН
доктор технических наук,
профессор (Санкт-Петербург)

Е. И. РАТЬКОВА
ответственный секретарь серии
(Петрозаводск)

А. А. РОГОВ
доктор технических наук,
профессор (Петрозаводск)

Г. Б. СТЕФАНОВИЧ
доктор физико-математических наук,
профессор (Петрозаводск)

В. И. СЫСУН
доктор физико-математических наук,
профессор (Петрозаводск)

В. В. ЩИПЦОВ
доктор геолого-минералогических наук,
профессор (Петрозаводск)

ISSN 1998-1643

Ministry of Education and Science
of the Russian Federation

Scientific Journal

PROCEEDINGS OF PETROZAVODSK STATE UNIVERSITY

(following up 1947–1975)

№ 2 (139). March, 2014

Natural & Engineering Sciences

Chief Editor
Anatoly V. Voronin, Doctor of Technical Sciences, Professor

Chief Deputy Editor
Vladimir B. Akulov, Doctor of Economic Sciences, Professor
Ernest V. Ivanter, Doctor of Biological Sciences, Professor,
The RAS Corresponding Member
Vladimir S. Syunev, Doctor of Technical Sciences, Professor

Executive Secretary
Nadezhda V. Rovenko, Candidate of Philological Sciences

All rights reserved. No part of this journal may be used
or reproduced in any manner whatsoever without written permission.
The articles are reviewed

The Editor's Office Address
185910, Lenin Avenue, 33. Tel. +7 (8142) 769711
Petrozavodsk, Republic of Karelia
E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrsu.ru

© FBSEI «Petrozavodsk State University (PetrSU)», 2014

Editorial Council

V. BOLSHAKOV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Ekaterinburg)

I. DUDANOV
Doctor of Medical Sciences, Professor,
the RAMS Corresponding Member (Petrozavodsk)

V. ZAKHAROV
Doctor of Philological Sciences, Professor (Moscow)

A. ISAYEV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Moscow)

MAREK VOCHOZKA
Doctor of Economic Sciences
(Ceske Budejovice, Czech Republic)

N. MEL'NIKOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor, the RAS Member (Apatity)

I. MULLONEN
Doctor of Philological Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

V. ORPHINSKY
Doctor of Architecture, Professor,
Full Member of Russian Academy
of Architectural Sciences (Petrozavodsk)

PAAVO PELKONEN
Doctor of Technical Sciences,
Professor (Joensuu, Finland)

I. ROMANOVSKY
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (St. Petersburg)

E. SENYAVSKAYA
Doctor of Historical Sciences,
Professor (Moscow)

HELENA SULKALA
Doctor of Philosophy,
Professor (Oulu, Finland)

L. TIMOFEEVA
Doctor of Political Sciences,
Professor (Moscow)

A. TITOV
Doctor of Biological Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)

M. CHARKICH
the Leading Professor of Serbian Academy
of Sciences and Arts (Belgrade, Serbia)

R. YUSUPOV
Doctor of Technical Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (St. Petersburg)

Editorial Board of the Series
"Natural & Engineering Sciences"

O. BARYSHEVA
Doctor of Medical Sciences (Petrozavodsk)

A. BOLGOV
Doctor of Agricultural Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

V. VAPIROV
Doctor of Chemistry, Professor (Petrozavodsk)

T. VOLKOVA
Doctor of Biological Sciences (Petrozavodsk)

E. MARKOVSKAYA
Doctor of Biological Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

A. MEYGAL
Doctor of Medical Sciences, Professor (Petrozavodsk)

N. NEMOVA
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)

V. PATYAKIN
Doctor of Technical Sciences,
Professor (St. Petersburg)

E. RAT'KOVA
Series Executive Secretary
(Petrozavodsk)

A. ROGOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

G. STEFANOVICH
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

V. SYSUN
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

V. SHCHIPTSOV
Doctor of Geological-Mineralogical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЯ

Визер С. А., Ержанов К. Б., Андреев В. П.
Новые условия пропаргилирования бензол-1,2-диамина 7

Дзюбук И. М., Рыжков Л. П.
Рост молоди радужной форели в садковых хозяйствах Карелии 11

Кищенко И. Т., Потапова М. Н.
Развитие интродуцированных видов *Syringa* (*Oleaceae*) в условиях Карелии 15

Рохлова Е. Л., Антипина Г. С.
Семенное размножение дичающих из культуры видов растений в условиях Южной Карелии 19

Рыжков Л. П., Онищенко И. Н., Онищенко Н. А., Шустов Ю. А.
Особенности распределения аборигенных озерных рыб в зоне влияния форелевой фермы 23

Сонина А. В.
Экотопическое распространение эпилитных лишайников в скальных лесных сообществах на территории Архангельской области 30

Сиккиля Н. С.
Фаунистический анализ мелких млекопитающих заповедника «Костомукшский» 33

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

Дуданов И. П., Ордынец С. В., Бергер М. М., Азиева А. З., Коблов Е. С., Зеленин В. В., Меркулов Д. В., Теремовский Н. Ю.
Анализ результатов хирургического лечения при сочетании стеноза и извитости внутренней сонной артерии в остром периоде ишемического инсульта 36

Жураховская Д. В., Лоскутова Е. Е., Виноградова И. А.
Оценка факторов, влияющих на выбор и назначение врачами нестероидных противовоспалительных препаратов 45

Мейгал А. Ю., Потемина А. М.
Нейромышечный статус человека в течение годового температурного цикла 48

Польская И. И., Марусенко И. М., Везикова Н. Н.
Особенности течения подагры при наличии метаболического синдрома 52

Васендин Д. В.
Особенности структурных изменений в тимусе при повреждающих воздействиях (обзор литературы) 59

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Рыбаков Д. С.
Выбросы загрязняющих веществ как региональный фактор изменения показателей смертности 65

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Царев А. П.
Программы лесной селекции: зарубежный и отечественный опыт (обзор) 70

Черкашина Е. В.
Проблемы развития эфиромасличного производства в России 77

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Медведев П. П.
Морфология традиционных сельских поселений Архангельского Примошья 80

Никифорова А. И., Хитров Е. Г., Пелымский А. А., Григорьева О. И.
Определение осадки при движении лесозаготовительной машины по двуслойному основанию 87

Рочев А. А.
Расчет плоских рам из неупругих составных элементов 92

Тихонов Е. А., Тихомиров А. А.
Исследование кислотности водного раствора при обработке переохлажденной плазмой различных параметров 96

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Малиненко В. П., Пергамент А. Л., Горбаков А. О.
Электрические неустойчивости в тонкопленочных структурах на основе оксидов молибдена 100

Мольков С. И.
Влияние разъюстировки зеркал на выходные характеристики волноводных газоразрядных лазеров 107

Камачкин А. М.
Периодические орбиты одного класса релейных свободных осцилляторов 113

Рогов А. А., Штеркель И. А.
Сравнение методов распознавания объектов на стенографических изображениях 118

Рецензии

Колесников Г. Н.
Рец. на кн.: Н. И. Карпенко, С. Н. Карпенко, А. Н. Петров, С. Н. Палювина. Модель деформирования железобетона в приращениях и расчет балок-стенок и изгибаемых плит с трещинами 121

Юбилеи

К 85-летию Л. П. Рыжкова 122
К 75-летию А. П. Царева 122
К 60-летию И. П. Дуданова 123
К 50-летию М. С. Светловой 123

Contents 124

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2008 года

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ РАН

Сведения о журнале публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

Требования к оформлению статей см.:
http://uchzap.petrsu.ru/files/reg.pdf

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

Редактор С. Л. Смирнова. Корректор И. Н. Дьячкова. Переводчик Н. К. Дмитриева. Верстка М. А. Моросин

Подписано в печать 17.03.2014. Формат 60×90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 150 экз.). Изд. № 66

Индекс 66093. Цена свободная.
Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77–37987
от 2 ноября 2009 г. выд. Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

Отпечатано в типографии Издательства
Петрозаводского государственного университета
185910, Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Март, № 2 **Биология** **2014**

УДК 547.551.2:’51:’552.1:’564.4:’362.3

СВЕТЛАНА АХМЕТШАКУРОВНА ВИЗЕР
доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории химии физиологически активных соединений, Институт химических наук им. А. Б. Бектурова (Алматы, Казахстан)
s-w07@bk.ru

КАЗБЕК БЕКМАГАНБЕТОВИЧ ЕРЖАНОВ
доктор химических наук, профессор, зав. лабораторией химии физиологически активных соединений, Институт химических наук им. А. Б. Бектурова (Алматы, Казахстан)
erzhanov42@mail.ru

ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ АНДРЕЕВ
доктор химических наук, профессор кафедры молекулярной биологии, биологической и органической химии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
andreev@psu.karelia.ru

НОВЫЕ УСЛОВИЯ ПРОПАРГИЛИРОВАНИЯ БЕНЗОЛ-1,2-ДИАМИНА

Новый метод проведения пропаргилирования бензол-1,2-диамина в бензоле в присутствии поташа и органического катализатора – йодида тетра-н-бутиламмония позволяет получать N-(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамин с выходом 83 %. Одновременно с выходом 7 % образуется N, N^1-ди(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамин. Реакцию проводят при мольном соотношении реагентов бензол-1,2-диамин : пропаргилбромид : поташ : n-Bu_4NI = 1:1:0,5:0,05 в течение пяти часов. При этом выход N-(проп-2-инил)бензол-1,2-диамина повышается почти в два раза, а продолжительность проведения реакции сокращается в десять раз по сравнению с ранее описанным методом. При проведении пропаргилирования бензол-1,2-диамина в смеси ацетонитрила и этанола (2:1) при соотношении реагентов 1:2:1:0,1 образуется смесь трех аминов: симметрично замещенного N, N^1-ди(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина, несимметрично замещенного N, N-ди(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина и N, N, N^1-три(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина в отношении 2:1:4 с общим выходом 55 %. Образцы индивидуальных аминов выделены колоночной хроматографией на силикагеле при элюировании бензолом. Строение и состав аминов подтверждены данными масс-спектров, ЯМР ^{1}H, ^{13}C, ИК и элементного анализа.

Ключевые слова: бензол-1,2-диамин, пропинилирование, пропаргилирование, органический катализ

Алкинильные амины, содержащие в своей структуре одну или несколько тройных связей, являются ценными химическими соединениями, поскольку проявляют разнообразное биологическое действие [5], [7], обладают полезными техническими свойствами [7], становятся уникальным строительным материалом в синтезе сложных гетероциклических соединений [9]. В то же время целевой синтез, направленный на получение моно- или диалкинильных производных с высоким выходом, является достаточно нетривиальной задачей, требующей индивидуального решения в зависимости от основности и растворимости исходного амина. Для повышения селективности синтеза низкозамещенных аминов в каждом конкретном случае химики используют различные способы проведения реакций. В качестве реакционной среды применяют оксид алюминия [1], [2], силикагель [8], метанол в присутствии эквимолярного количества ацетата натрия [3]. В. П. Андреевым с соавторами [4] было установлено, что процессом образования продуктов моно- и диалкинилирования аминов галоидалкинами 2-пропинильного типа можно управлять, изменяя полярность растворителя. Для моноалкинилирования аминов, имеющих высокую основность, были использованы малополярные растворители с низкой кинетической активностью, а для реакции с низкоосновными аминами – более полярные растворители. Эти представления были использованы И. А. Баловой с соавторами [6] при N-алкинилировании о-фенилендиамина. Ими было установлено, что при проведении пропаргилирования в бензоле с 46 % выходом образуется только N-пропаргил-о-фенилендиамин, а при добавлении к бензолу 15 % этанола выход продуктов пропаргилирования повышается до 71 %, но образуется смесь моно- и N, N^1-дипропаргил-о-фенилендиаминов с двукратным преобладанием первого, тогда как в ацетонитриле – смесь моно- и N, N^1-дипропаргил-о-фенилендиаминов с двукратным преобладанием второго с общим выходом 78–90 %. При этом продолжительность прове-

© Визер С. А., Ержанов К. Б., Андреев В. П., 2014

Таблица 1

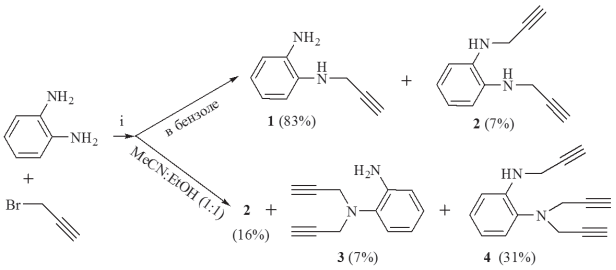
Характеристика продуктов пропаргилирования бензол-1,2-диамина **1–4**

Соединение	Т. пл., °С	R_f*	Брутто-формула	Масс-спектр (M^++1)		Найдено, % / Вычислено, %		Полосы поглощения характеристических колебаний в ИК-спектрах, $см^{-1}$			
				найдено	вычислено	C	H	≡C-H	C≡C	C_6H_4	NH_2, NH
1	53–54	0,33	$C_9H_{10}N_2$			73,93 / 73,94	6,95 / 6,90	3323	2120	3030	3404, 3246
2	85–87	0,71	$C_{12}H_{12}N_2$	185,10723	185,10340	78,27 / 78,23	6,45 / 6,57	3295	2110	3030, 3060	3420, 3340
3	–	0,83	$C_{12}H_{12}N_2$	185,10732	185,10340	78,27 / 78,23	6,45 / 6,57	3270	2110	3060	3436, 3346, 3256,
4	–	0,89	$C_{15}H_{14}N_2$	223,12282	223,11905	81,12 / 81,01	6,90 / 6,35	3289	2115	3044, 3070	3365

Примечание. Силуфол, бензол : этилацетат = 4:1.

дения синтезов была достаточно большой и составляла 48–72 часа.

С целью разработки селективных методов синтеза N-(проп-2-инил)- и N, N^X-ди(проп-2-ин-1-ил)бензолдиаминов для последующего изучения их свойств, в частности – нуклеофильности в реакциях комплексообразования с металлопорфиринами, мы исследовали реакцию N-пропинилирования бензол-1,2-диамина в растворителях различной полярности (бензоле и смеси ацетонитрила с этанолом) в присутствии поташа и органического катализатора тетра-н-бутиламмонийиодида (ТБАИ).



i: растворитель, K_2CO_3 (1г-экв), n-Bu_4NI (0,1 г-экв), 45–50 °С

Пропаргилирование в бензоле проводили при мольном соотношении реагентов бензол-1,2-диамин : пропаргилбромид : поташ : ТБАИ = 1:1:0,5:0,05, а дипропаргилирование – в смеси ацетонитрил – этанол (2:1) при мольном соотношении тех же реагентов 1:2:1:0,1. Строение полученных веществ установлено на основании анализа данных спектров ИК, ЯМР ^{1}H и ^{13}C, масс-спектров и элементного анализа. При проведении пропаргилирования в бензоле в течение 5 часов образуется смесь N-(проп-2-ин-1-ил) бензол-1,2-диамина **1** и N, N^1-ди(проп-2-ин-1-ил) бензол-1,2-диамина **2** с общим выходом 90 % при 12-кратном преобладании амина **1**. При проведении реакции в смеси ацетонитрил : этанол (2:1) в течение того же времени образуется смесь трех аминов – симметрично замещенного N, N^1-ди(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина **2**, несимметрично замещенного N, N-ди(проп-2-ин-1-ил) бензол-1,2-диамина **3** и N, N, N^1-три(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина **4** в отношении 2:1:4 с общим выходом 55 %.

В ИК-спектрах синтезированных пропаргильных аминов **1–4**, приведенных в табл. 1, присутствуют полосы поглощения средней интенсивности характеристических колебаний С-Н связи, расположенной при тройной углерод-углеродной связи в области 3300 $см^{-1}$, слабо-интенсивные полосы тройной углерод-углеродной связи в области 2110–2120 $см^{-1}$, сильно-интенсивные полосы аминогрупп при 3400–3250 $см^{-1}$ и слабо-интенсивные от С-Н связей ароматического цикла в области 3000–3100 $см^{-1}$ и С-Н связей при sp_3-гибридизованных углеродных атомах в области 2800–2900 $см^{-1}$, что подтверждает введение проп-2-инильных групп в молекулу бензол-1,2-диамина.

В спектрах протонного магнитного резонанса аминов **1–4**, приведенных в табл. 2, также присутствуют сигналы, характерные по химическим сдвигам, интенсивности и характеру расщепления для предполагаемых групп протонов и подтверждающие строение пропаргилированных бензол-1,2-диаминов. Это триплеты при 2,2–2,3 м. д. с константами спин-спинового

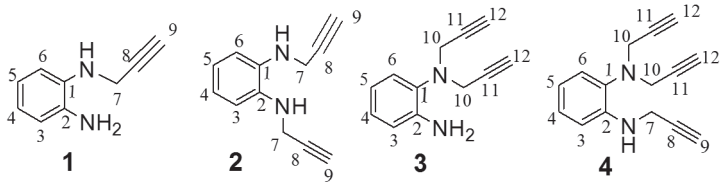
Таблица 2

Данные спектров ЯМР ^{1}H пропаргилированных бензол-1,2-диаминов **1–4** в $CDCl_3$, δ, м. д.

Соединение	Данные спектров ЯМР ^{1}H, δ, м.д.; (J, Гц)			
	≡C-H	CH_2C≡C	C_6H_4	NH_2, NH
1	т 2,29 (2,3), 1H	д 3,93 (2,3), 2H	м 6,73–6,82, 4H	ш. с. 3,43, 3H
2	т 2,25 (2,3), 2H	д 3,90 (2,3), 4H	м 6,78–6,82, 2H; м 6,86–6,90, 2H	ш. с. 3,60, 2H
3	т 2,25 (2,3), 2H	д 3,89 (2,3), 4H	м 6,71–6,74, 2H; 6,95–6,99, 1H; м 7,17–7,19, 1H	ш. с. 3,96, 2H
4	т 2,23 (2,3), 1H; т 2,29 (2,3), 2H	д 3,89 (2,3), 4H; д 3,97 (2,3), 2H	м 6,76–6,79, 2H; м 7,12–7,15, 1H; м 7,24–7,26, 1H	ш. с. 4,90, 1H

Таблица 3

Данные спектров ЯМР ^{13}C пропаргилированных бензол-1,2-диаминов **1–4** в $CDCl_3$, δ, м. д.



№ соед.	Тип спектра	С-1	С-2	С-3	С-4	С-5	С-6	С-7	С-8	С-9	С-10	С-11	С-12
1	э[1]	**136,27**	**135,26**	**116,73**	**120,20**	**120,58**	**113,16**	**34,05**	**81,52**	**71,81**	–	–	–
	р[2]	134,5	133,7	117,1	118,0	119,6	114,3	30,5	78,0	70,9	–	–	–
2	э[1]	**136,54**	**136,54**	**113,20**	**120,47**	**120,47**	**113,20**	**34,13**	**81,28**	**71,76**	–	–	–
	р[2]	131,7	131,7	114,3	118,0	118,0	114,3	30,5	78,0	70,9	–	–	–
3	э[1]	**141,97**	**135,88**	**118,18**	**122,30**	**125,80**	**115,30**	–	–	–	**40,86**	**79,49**	**72,89**
	р[2]	137,6	134,5	117,2	119,1	119,7	115,1	–	–	–	43,0	78,0	70,9
4	э[1]	**142,37**	**136,18**	**111,12**	**126,20**	**122,27**	**117,64**	**33,39**	**81,31**	**71,10**	**41,17**	**79,39**	**73,07**
	р[2]	134,8	132,5	114,4	119,1	118,1	115,1	30,5	78,0	70,9	43,0	78,0	70,9

Примечание. 1 – экспериментальный спектр; 2 – спектр, рассчитанный по программе Chem Draw Ultra.

расщепления (КССР) 2,3–2,4 Гц от протона при тройной связи и дублеты около 3,9 м. д. от метиленовой группы, находящейся рядом с тройной связью, с такими же КССР. В области 6,7–7,3 м. д. расположены мультиплеты от протонов бензольного цикла и в области 3,4–5,0 м. д. – уширенные синглеты от протонов первичных и вторичных аминогрупп.

В спектрах ЯМР ^{13}C пропаргилированных аминов **1**–**4**, приведенных в табл. 3, наблюдаются шесть резонансных сигналов от углеродных атомов бензольного цикла С-1 – С-6 в области 110–140 м. д. Сигналы от метиленовой группы пропаргильных заместителей находятся в области 34–41 м. д., причем при двух пропаргильных заместителях, находящихся у одного азотного атома, эти сигналы проявляются в более слабом поле – около 40–41 м. д., а при монопропаргильном замещении – в более сильном – около 34 м. д. Сигналы от четвертичных углеродных атомов тройной связи проявляются при 79–81 м. д., а от третичных углеродных атомов тройной связи при 71–73 м. д., то есть в характерных для них областях. Причем при дипропаргильном замещении атома азота резонансные сигналы от четвертичных углеродов тройной связи сдвигаются в более слабое поле, а для третичных – в более сильное по сравнению с соответствующими сигналами монопропаргильного заместителя.

На основании результатов проведенных исследований можно сделать вывод, что реакция пропаргилирования бензол-1,2-диамина в бензоле в присутствии поташа в условиях органического катализа позволяет селективно получать N-(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамин **1** с выходом 83 %, при повышении почти в два раза выхода и сокращении в 10 раз продолжительности проведения реакции по сравнению с ранее известным методом [6]. При проведении реакции в смеси ацетонитрила и этанола в отношении 2:1 образуется смесь трех аминов: симметрично замещенного N, N^1-ди(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина **2**, несимметрично замещенного N, N-ди(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина **3** и N, N, N^1-три(проп-2-ин-1-ил)бензол-1,2-диамина **4** в отношении 2:1:4 с общим выходом 55 %.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Общая методика проведения пропинилирования бензол-1,2-диамина. К смеси бензол-1,2-диамина, тонко растертого поташа и ТБАИ в растворителе при температуре 45–50 °С и интенсивном перемешивании добавили по каплям пропаргилбромид и реакционную смесь выдержали при этой же температуре до завершения реакции, которое определяли по исчезновению из реакционной смеси бензол-1,2-диамина или пропаргилбромида. Обычно реакция завершалась за 5 часов. Ход реакции контролировали с помощью тонкослойной хроматографии на силикагеле. Реакционную смесь отфильтровывали, осадок промывали несколько раз смесью бензол : гексан (1:1). Растворители отгоняли при пониженном давлении. Продукты реакции выделяли методом колоночной хроматографии на силикагеле при элюировании бензолом.

ИК-спектры записывали на спектрометре «Nicolet 5700» в таблетках KBr, масс-спектры – на спектрометре «SolariX-ESI–Maldi» при прямом вводе вещества, спектры ЯМР – на спектрометрах Avance-III 500 (Bruker) с рабочими частотами 500 (^1H), 125 МГц (^{13}C) и JNM-ECA 400 (Jeol) с рабочими частотами 400 (^1H), 100 МГц (^{13}C), с внутренним стандартом ГМДС (^1H).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулганеева С. А., Ержанов К. Б. Селективный синтез моно- и дипропаргилариламинов на оксиде алюминия // ЖОрХ. 1989. Т. 25. № 3. С. 521–524.
2. Абдулганеева С. А., Ержанов К. Б. Синтез N, N-ди (2-пропинил) галогенанилинов // Известия НАН РК. Сер. химическая. 1993. № 2. С. 91–95.
3. Абдулганиева С. А., Ержанов К. Б., Манчук З. Н., Лелюх М. И., Танатарова К. Т. Улучшенный метод N-пропаргилирования галогенанилинов // Известия НАН РК. Сер. химическая. 1995. № 6. С. 43–49.
4. Андреев В. П., Ремизова Л. А., Утсаль О. Г., Фаворская И. А. Пропаргилирование первичных и вторичных аминов // ЖОрХ. 1979. Т. 15. № 3. С. 467–471.
5. Андреев В. П., Зайцев Д. О., Соболев Д. С., Визер С. А., Ержанов К. Б., Ремизова Л. А. Бактерицидные и фунгицидные свойства ацетиленовых четвертичных аммониевых солей // Химический журнал Казахстана. 2012. Специальный выпуск (№ 38). С. 46–48.
6. Балова И. А., Ремизова Л. А., Пащенко В. Ю. Синтез ацетиленовых и диацетиленовых диаминов в реакции алкинилирования о-фенилендиамина // ЖОрХ. 1999. Т. 35. № 10. С. 1508–1511.
7. Визер С. А. Селективный синтез моно-, дипропаргилариламинов и новые реакции на их основе // Химия природных и синтетических биологически активных соединений (строение, превращения и свойства). Труды ИХН им. А. Б. Бектурова. 2001. Т. 76. С. 92–100.
8. Basudeb B., Susmita P., Ashis K. N. Highly selective N-alkylation of amines promoted on silica: an efficient and recyclable surface // Green Chem. 2009. Vol. 11. P. 1115–1120.
9. Vizer S. A., Sycheva Y. S., Kurmankulov N. B., Yerzhanov N. B., Dembitsky V. M. Acetylenes, allenes and cumulenes in the synthesis of heterocycles and the natural bioactive metabolites. Almaty, 2009. 360 p.

Vizer S. A., Institute of Chemical Sciences named after A. B. Bekturov (Almaty, Kazakhstan)
Erzhanov K. B., Institute of Chemical Sciences named after A. B. Bekturov (Almaty, Kazakhstan)
Andreev V. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

NOVEL TERMS OF BENZENE-1,2-DIAMINE PROPARGYLATION

A novel method of benzene-1,2-diamine propargylation in benzene in the presence of potassium carbonate and tetra-n-butyl ammonium iodide as organic catalyst helps to produce N-(prop-2-yn-1-yl)benzene-1,2-diamine in 83 % yield, Simultaneously N,N1-di(prop-2-yn-1-yl)benzene-1,2-diamine is formed in 7 % yield. Propargylation in benzene has been carried out at molar relation of benzene-1,2-diamine reagents: propargyl bromide: potash: n-Bu4NI = 1:1:0,5:0,05. In comparison with earlier known method a yield of N-(prop-2-yn-1-yl)benzene-1,2-diamine has a double increase, the time needed to carry out the whole reaction is ten time less in comparison to the previously described method. When analogical reaction of benzene-1,2-diamine is held in a mixture of methyl cyanide and ethanol (2:1) at molar relation of reagents 1:2:1:0,1, three amines are obtained: symmetrically substituted N,N1-di(prop-2-yn-1-yl)benzene-1,2-diamine, asymmetrically substituted N,N-di(prop-2-yn-1-yl)benzene-1,2-diamine and N,N,N1-tri(prop-2-yn-1-yl)benzene-1,2-diamine in a proportion 2:1:4 in a 55 % overall yield. Column chromatography on silica by benzene elution helps to obtain samples of all individual amines. IR, NMR 1H, 13C, mass-spectra confirm their structures.
Key words: benzene-1,2-diamine, propynylation, propargylation, organic catalysis

REFERENCES

1. Abdulganeeva S. A., Yerzhanov K. B. Selective synthesis of mono- and dipropargylarylamines on aluminum oxide [Selectivnyy sintez mono- i dipropargilarilaminov na okside alyuminiya]. *Zhurn. org. khim.* 1989. Vol. 25. № 3. P. 466–469.
2. Abdulganeeva S. A., Yerzhanov K. B. Synthesis of N, N-di (2-propynyl) halogenanilines [Sintez N, N-di (2-propinil) galogenanilinov]. *Izvestiya NAN RK. Ser. khimicheskaya.* 1993. № 2. P. 91–95.
3. Abdulganieva S. A., Yerzhanov K. B., Manchuk Z. N., Lelyukh M. I., Tanatarova K. T. Improved method of halogenanilines propargylation [Uluchshennyy metod N-propargilirovaniya galogenanilinov]. *Izvestiya NAN RK. Ser. khimicheskaya.* 1995. № 6. P. 43–49.
4. Andreev V. P., Remizova L. A., Utsal' O. G., Favorskaya I. A. Propargylation of primary and secondary amines [Propargilirovanie pervichnykh i vtorichnykh aminov]. *Zhurn. org. khim.* 1979. Vol. 15. № 3. P. 414–417.
5. Andreev V. P., Zaytsev D. O., Sobolev D. S., Vizer S. A., Yerzhanov K. B., Remizova L. A. Bactericidal and fungicidal properties of acetylenic quaternary ammonium salts [Bakteritsidnye i fungitsidnye svoystva atsetilenovykh chetvertichnykh ammoniyevykh soley]. *Khimicheskiy zhurnal Kazakhstana.* 2012. Spetsial'nyy vypusk (№ 38). P. 46–48.
6. Balova I. A., Remizova L. A., Pashchenko V. Yu. Synthesis of acetylenic and diacetylenic diamines in alkynylation reaction of o-phenylenediamine [Sintez atsetilenovykh i diatsetilenovykh diaminov v reaktsii alkinilirovaniya o-fenilendiamina]. *Zhurn. org. khim.* 1999. Vol. 35. № 10. P. 1508–1511.
7. Vizer S. A. Selective synthesis of mono-, dipropargyl aryl amines and novel reactions on their basis [Selectivnyy sintez mono-, dipropargilarilaminov i novye reaktsii na ikh osnove]. *Khimiya prirodnykh i sinteticheskikh biologicheski aktivnykh soedineniy (stroeniye, prevrashcheniya i svoystva). Trudy Instituta khimicheskikh nauk imeni A. B. Bekturova.* 2001. Vol. 76. P. 92–100.
8. Basudeb B., Susmita P., Ashis K. N. Highly selective N-alkylation of amines promoted on silica: an efficient and recyclable surface // Green Chem. 2009. Vol. 11. P. 1115–1120.
9. Vizer S. A., Sycheva Y. S., Kurmankulov N. B., Yerzhanov N. B., Dembitsky V. M. Acetylenes, allenes and cumulenes in the synthesis of heterocycles and the natural bioactive metabolites. Almaty, 2009. 360 p.

Поступила в редакцию 27.02.2014

Март, № 2 **Биология** **2014**

УДК 639.3.07

ИРИНА МИХАЙЛОВНА ДЗЮБУК
кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ikrup@petrsu.ru

ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ РЫЖКОВ
доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
rlp@petrsu.ru

РОСТ МОЛОДИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В САДКОВЫХ ХОЗЯЙСТВАХ КАРЕЛИИ*

Впервые представлены результаты по выращиванию молоди радужной форели, полученной от производителей из садкового хозяйства Карелии (озеро Коткозеро). Было обследовано 60 тыс. штук молоди форели. Исследовались условия среды выращивания, рост и выживаемость молоди. Определены благоприятные условия для выращивания мальков: pH 7,2–7,9, температура воды 7,9–14,4 °С, содержание кислорода 6,0–9,3 мг/л. Приросты длины и массы мальков форели за период исследований (45 дней) составили 3,6 см и 1,5 г. Выявлена закономерность динамики линейного и весового роста молоди радужной форели: при высоком линейном росте замедляется накопление массы тела. Ежедневный отход молоди изменялся от 0,3 до 1,6 %. Выживаемость мальков составила 79,2 %. Зафиксированы вспышки гибели малька (отход до 2,3 % в сутки) вследствие миксобактериоза. В целом показана перспективность выращивания посадочного материала от производителей из садкового хозяйства Карелии.

Ключевые слова: садковое рыбоводство, форель, молодь, выращивание, рост, озера Карелии

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время растет потребность населения в рыбной продукции хорошего качества. Одним из наиболее эффективных и перспективных путей получения такой продукции в Карелии является садковое рыбоводство в естественных водоемах, интенсивное развитие которого началось с 1990-х годов. С этого времени произошло увеличение объемов выращивания рыбной продукции от 500–1000 до 17 500 т/год. Этому способствовали благоприятные климатические условия Карелии, разработанная научная обоснованность этого направления, наличие технологии производства посадочного материала и товарной рыбы в садках, накопленный практический опыт и новые социально-экономические условия. Потенциал и возможности для дальнейшего развития садковой аквакультуры в Карелии значительны – до 30 тыс. т/год качественной рыбной продукции.

Получение такого количества качественной рыбной продукции во многом определяется качеством посадочного материала. Если в количественном отношении эта проблема в Карелии практически решена, то с качественной стороной посадочного материала еще следует работать. Одним из путей решения этой проблемы является выращивание посадочного материала, полученного от местных производителей.

В связи с этим целью работы было исследование роста и выживаемости молоди радужной форели, полученной от производителей, выращенных в садковых хозяйствах Карелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в летний период (июнь – июль) 2010 года в Коткозерском форелевом хозяйстве (озеро Коткозеро), которое относится к категории полносистемных с двухлетним циклом выращивания товарной продукции. Хозяйство было организовано в 2005 году и специализировалось на выращивании товарной форели. С целью модернизации и расширения производства были построены и начали работу мальковый цех с системой замкнутого водоснабжения и инкубатор, стали выращивать собственный посадочный материал.

Материалом для исследований была молодь радужной форели в возрасте 0+, полученная от производителей, выращенных в садках на озере Коткозеро.

При выращивании молоди контролировали pH, температуру и содержание растворенного в воде кислорода. Кормление молоди рыб проводили ручным методом, 18 раз в сутки небольшими порциями. Использовали корма фирмы Rehu Raisio (производство Финляндии). Размер корма варьировал в зависимости от роста мальков от 0,5 до 1 мм. Для

© Дзюбук И. М., Рыжков Л. П., 2014

определения темпа роста молоди форели 1 раз в неделю производили взвешивание и измерение. Использовали весовой метод. По результатам взвешивания рассчитывали величину абсолютного прироста молоди. Для оценки выживаемости мальков ежедневно отбирали погибших особей и определяли отход за сутки. Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных методов вариационной статистики [1].

Всего исследовано на морфологический анализ 670 шт., на выживаемость – 550 тыс. шт. мальков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мальки содержались в 2 бассейнах, объемом 4,7 м³ каждый, плотность посадки в каждом бассейне составляла по 30 тыс. экземпляров. В ходе исследований активная реакция воды (pH) в бассейнах была в пределах 7,2–7,9 (в среднем 7,5), что соответствует оптимальным условиям выращивания (pH 7–8). Благоприятный интервал активной реакции среды для молоди радужной форели составляет 6–9. В щелочной (pH ≥ 9) и кислой (pH ≤ 5,6) средах наблюдается снижение активности молоди, возможны нарушения в ее развитии.

За период исследований температура воды в бассейнах изменялась в пределах от 8 до 14 °С. В хозяйстве замкнутый тип водоснабжения, что позволяет контролировать и регулировать температуру воды в бассейнах. Оптимальный диапазон температур для выращивания мальков форели 12–16 °С. Известно, что наиболее активный рост мальков этого возраста происходит при температуре 14–15 °С. Изменение температуры воды влияет на активность потребления корма и эффективность его использования. При температуре выше 16 °С увеличивается общее и относительное потребление корма на единицу прироста форели. При понижении температуры менее 2 °С и при ее увеличении более 22 °С молодь чувствует себя угнетенно, прекращает питаться и соответственно не растет [2], [3], [5].

Содержание кислорода в воде бассейнов с мальками было в пределах 6,0–9,3 мг/л. При снижении кислорода в бассейне величина его восстанавливалась с помощью аэратора. Радужная форель предпочитает прозрачные воды с высоким содержанием кислорода – 9–11 мг/л. Повышение температуры воды влечет за собой повышение потребности рыб в кислороде. При снижении O_2 до 5 мг/л наступает угнетение дыхания: снижаются активность потребления корма и темп роста. Минимальное содержание кислорода, необходимое для выживания радужной форели, 2–3 мг/л [2], [3], [4].

Поедаемость корма фирмы Raisio мальками была высокой – 90–95 %. За период исследований в соответствии с увеличивающимися потребностями молоди в процессе роста суточная норма внесения корма была увеличена с 18 до 396 г, размер крупки – с 0,1 до 1 мм.

За период исследований (45 дней) средняя длина мальков в 1-м бассейне изменилась с 1,4 ± 0,1 до 4,9 ± 0,6 см, то есть увеличилась в среднем на 3,5 см. Масса мальков увеличилась за этот период с 0,1 ± 0,01 до 1,6 ± 0,1 г, то есть на 1,5 г. На протяжении исследования приросты длины составляли 0,4–1,1 см, массы – 0,1–0,4 г (рис. 1, 2).

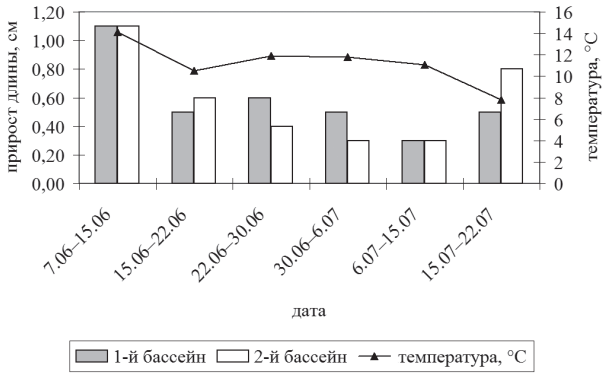


Рис. 1. Прирост длины мальков радужной форели в Коткозерском хозяйстве, лето 2010 года

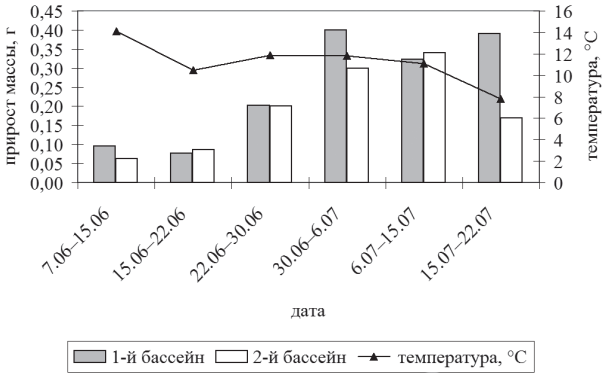


Рис. 2. Прирост массы мальков радужной форели в Коткозерском хозяйстве, лето 2010 года

Во 2-м бассейне средняя длина мальков изменилась с 1,3 ± 0,2 до 4,9 ± 0,6 см, то есть произошло ее увеличение на 3,6 см. Масса мальков увеличилась за период исследований с 0,1 ± 0,02 до 1,3 ± 0,12 г, то есть на 1,2 г. Приросты длины мальков составляли 0,3–1,1 см, массы – 0,1–0,4 г, как и в 1-м бассейне (см. рис. 1, 2).

Было выявлено, что приросты длины и массы изменялись неравномерно на протяжении всего периода исследований. Линейные приросты мальков в обоих бассейнах были максимальные в начале исследования, в то время как приросты их массы – минимальные. Приросты массы стали нарастать к концу исследования, при этом наблюдалось уменьшение приростов длины мальков (см. рис. 1, 2). Таким образом, было

выявлено, что при высоком приросте линейных размеров мальков прирост их массы минимальный, и наоборот, при интенсивном накоплении массы тела линейный прирост сокращался.

Известно, что рыба растет неравномерно в течение жизни. Чередование скорости линейного роста и накопления массы тела свойственно не только радужной форели, но и другим рыбам. Обычно до наступления половой зрелости рыбы растут быстрее. Пища используется главным образом на линейный прирост. После наступления половой зрелости темп линейного роста снижается, а прирост массы возрастает. Значительная часть потребляемой пищи расходуется на образование половых продуктов и резервных веществ для миграций, зимовки и т. д. В период старения организма линейный рост сильно замедляется, пища расходуется в основном на поддержание жизненных процессов.

Эту закономерность необходимо учитывать при выращивании рыб в контролируемых условиях. Также необходимо помнить, что в садковом рыбоводстве основным показателем эффективности выращивания рыбы является рост массы тела рыб.

Однако в ходе исследований нами выявлено чередование линейного и весового приростов у молоди радужной форели. Возможно, это связано с условиями кормления (усиленное питание, режим и т. д. по сравнению с рыбами из естественных условий). В естественных условиях рост массы тела рыб по сравнению с линейным приростом сильнее подвержен колебаниям в зависимости от условий питания.

В ходе исследований для оценки выживаемости мальков проводился подсчет погибших рыб (отход).

Общее количество рыб в каждом бассейне – по 30 тыс. шт. Отход за весь период исследований составил для 1-го бассейна – 6250 шт., то есть 20,8 % от общего количества мальков, для 2-го бассейна – 6234 шт., то есть 20,9 %. Следовательно, выживаемость молоди в 1-м бассейне за весь период – 79,2 %, во 2-м – 79,1 %.

Прослеживалось также увеличение отхода молоди радужной форели (без учета вспышек). В начале исследований он составлял 0,3 % от общего количества мальков, а в конце – 1,4 %.

В 1-м бассейне наблюдалось две вспышки гибели мальков форели. В результате первой погибло 492 малька, или 1,6 % от общего количества рыб, а в результате второй – более 693 шт., или 2,3 % (рис. 3). Предположение, что это результат вспышки заболевания рыб в хозяйстве, подтвердилось с помощью микробиологического анализа, который показал наличие миксобактериоза у рыб. Также в эти дни наблюдалось резкое уменьшение содержания кислорода в воде. А молодь радужной форели, и особенно пораженная миксобактериозом,

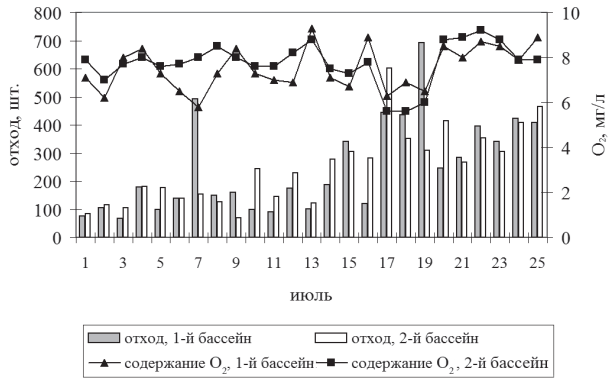


Рис. 3. Отход мальков форели в Коткозерском хозяйстве, 2010 год

крайне чувствительна к этому показателю. Следовательно, высокая гибель мальков в эти дни может быть связана со вспышкой заболевания при резком уменьшении концентрации кислорода в воде.

Во 2-м бассейне, как и в 1-м, также прослеживалось увеличение отхода молоди радужной форели в ходе исследований. В начале исследований он составил 84 шт. в сутки, или 0,3 %, а в конце – 465 шт. в сутки, или 1,6 % от общего количества мальков. Максимально высокий отход составил 603 шт., или 2 % от общего количества мальков. В этот период наблюдалось резкое снижение содержания кислорода в воде до 5,6 мг/л (см. рис. 3). Высокий отход, вероятно, как и в 1-м бассейне, был связан со вспышкой миксобактериоза при низком содержании кислорода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием садкового рыбоводства возникает целый ряд проблем, связанных с выращиванием качественной рыбной продукции. Прежде всего это особенности самой садковой аквакультуры и связанные с ними условия размещения рыбоводных хозяйств, качество водной среды, состояние водных биоресурсов, сохранение здоровья выращиваемых рыб и т. д. Результаты во многом зависят от качества посадочного материала. В Карелии в основном выращивают радужную форель, а посадочный материал закупается в Финляндии.

Наши исследования показали, что молодь радужной форели, полученная от производителей, выращиваемых в садковых хозяйствах Карелии, может перспективно использоваться в качестве посадочного материала для выращивания товарной форели при соблюдении благоприятных режимов содержания, кормления и при строгом бактериологическом контроле.

Установлено также, что величины pH 7,2–7,9, температуры воды 7,9–14,4 °C, содержания кислорода 6,0–9,3 мг/л вполне благоприятны для выращивания молоди радужной форели, полу-

ченной от местных производителей. За период исследований в этих условиях средние показатели линейных размеров и массы тела мальков увеличились с 1,3 до 4,9 см и с 0,1 до 1,6 г соответственно. Приросты длины и массы за неделю составляли 0,3–1,1 см и 0,1–0,4 г, за весь период исследований – 3,6 см и 1,5 г. Была выявлена закономерность изменения приростов длины и массы мальков радужной форели – при увеличении приростов массы происходит уменьшение приростов длины малька. Это важно знать при выращивании рыбы, чтобы соответственно планировать расход корма.

Выживаемость рыб за весь период исследований была высокая и составила 79,2 %, что является нормальным для рыб на этом этапе выращивания. Ежедневный отход молоди изменялся от 0,3 до 1,6 %. Зафиксированы вспышки гибели малька, при которых отход составлял до 2,3 % в сутки, вследствие наличия болезни малька, при уменьшении концентрации кислорода в воде.

Таким образом, результаты наших исследований показали, что выращивание мальков от производителей из рыбоводных хозяйств Карелии возможно и перспективно для получения качественного посадочного материала. Выращивание проходило в нормальных условиях, при этом произошло значительное увеличение длины и массы мальков, их приростов, отход был небольшой, соответственно выживаемость была высокая (исключая дни со вспышкой заболевания). Для выращивания молоди необходимо строго контролировать условия содержания (температурные, кислородные, кормовые и т. д.) и предотвращать возникновение гибели вследствие вспышек миксобактериоза и возможных других заболеваний.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учебное пособие для студентов биол. специальностей. Петрозаводск: Петрозаводский гос. ун-т, 2003. 302 с.
2. Рыжков Л. П., Кучко Т. Ю. Садковое рыбоводство. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 164 с.
3. Рыжков Л. П., Кучко Т. Ю., Дзюбук И. М. Основы рыбоводства: Учебник. СПб.: Лань, 2011. 487 с.
4. Стеффенс В. Индустриальные методы выращивания рыбы. М.: Агропромиздат, 1985. 93 с.
5. Цуладзе В. Л. Бассейновый метод выращивания лососевых рыб: на примере радужной форели. М.: Агропромиздат, 1990. 156 с.

Dzyubuk I. M., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Ryzhkov L. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

GROWTH OF JUVENILE RAINBOW TROUT IN CAGE FARMS OF KARELIA

The first results on the growth of juvenile rainbow trout in cage farms of Karelia (Lake Kotkozero) were obtained. 60 thousand fish of juvenile trout were examined. Environmental conditions of cultivation, growth, and survival rate of juveniles were studied. Favorable conditions for growing fry were defined: pH 7,2–7,9, water temperature 7,9–14,4 °C, oxygen content of 6,0–9,3 mg/l. Gains in length and weight for trout fry during the study period (45 days) were 3,6 cm, and 1,5 g. Correlations in the dynamics of linear and weight growth of juvenile rainbow trout was identified: in case of high linear growth accumulation of body weight slows down. The daily mortality rate among juveniles varied from 0,3 to 1,6 %. The fry survival rate was 79,2 %. The “flash” of fry deaths (mortality to 2,3 % per day) due to miksobakterioza was observed. The overall prospects for growing species taken from Karelian cage farm producers were shown.

Key words: fish cage culture, trout fry, growing, growth, the lakes of Karelia

REFERENCES

1. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Vvedenie v kolichestvennuyu biologiyu. Uchebnoe posobie dlya studentov biol. spetsial’nostey* [Introduction to quantitative biology. Textbook for students of biol. specialty]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2003. 302 p.
2. Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu. *Sadkovoe rybovodstvo* [Cage culture]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2008. 164 p.
3. Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu., Dzyubuk I. M. *Osnovy rybovodstva: Uchebnik* [Basics fishery: Textbook]. St. Petersburg, Lan’ Publ., 2011. 487 p.
4. Steffens V. *Industrial’nye metody vyrashchivaniya ryby* [Industrial methods of fish farming]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 93 p.
5. Tsuladze V. L. *Basseynovyy metod vyrashchivaniya lososevykh ryb: na primere raduzhnoy foreli* [Basin method of cultivation of salmonids: an example of rainbow trout]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. 156 p.

Поступила в редакцию 02.12.2013

Март, № 2 **Биология** **2014**

УДК 581.522.4:582.632

ИВАН ТАРАСОВИЧ КИЩЕНКО
доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ivanki@karelia.ru

МАРИНА НИКОЛАЕВНА ПОТАПОВА
агроном Ботанического сада, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
potap@sampo.ru

РАЗВИТИЕ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ВИДОВ *SYRINGA* (*OLEACEAE*) В УСЛОВИЯХ КАРЕЛИИ*

Исследования проводили в течение 1986–2011 годов в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета (Южная Карелия, подзона средней тайги). Объекты исследований: сирень обыкновенная – *Syringa vulgaris* L., сирень мелколистная – *Syringa microphylla* Diels in Engl. Bot. Jahrb., сирень гималайская – *Syringa emodi* Wall, ex Royle Nymal., сирень Генри – *Syringa henryi* C. K. Schneid. in Fedde Bepert., сирень венгерская – *Syringa josikaea* Jacq. f. in Flora, сирень мохнатая – *Syringa villosa* Vahl, Enum. pl., сирень обыкновенная «Конго» – *Syringa vulgaris «Congo»* Lemoine. Установлено, что наиболее заметное влияние на динамику развития видов *Syringa* оказывает температура воздуха. Все виды, за исключением *S. vulgaris f. congo,* хорошо адаптировались к новым условиям и потому перспективны для интродукции в условиях Карелии.

Ключевые слова: интродукция, развитие, *Syringa*

Усиливающееся загрязнение окружающей среды все настоятельнее требует увеличения объема озеленительных работ. Большинство аборигенных видов древесных растений таежной зоны России плохо переносят прогрессирующее загрязнение окружающей среды [12]. Между тем многие виды лиственных древесных растений, в том числе и видов *Syringa*, устойчивы к загазованности и задымлению воздуха. В связи с этим предполагается их интродукция и ее оценка [2], [6], [8], [9].

Один из важнейших показателей интродукции – степень соответствия ритмики роста и развития растения динамике экологических факторов [5]. Именно сезонный ритм развития является интегральным показателем, характеризующим адаптацию растений к условиям среды и соответствие последних биологии вида [7], [11]. В отечественной литературе выяснению особенностей сезонного развития органов лиственных древесных растений уделено сравнительно мало внимания [4].

Целью исследований являлось установление особенностей развития интродуцированных видов *Syringa* в условиях Карелии для оценки степени их адаптации к местному климату и перспективности для озеленительных работ. Подобные исследования на территории Карелии ранее не проводились.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследования были проведены в 1986–2011 годах в Ботаническом саду ПетрГУ, расположенном на северном берегу Петрозаводской губы Онежского озера (подзона средней тайги). Объектами исследований служили интродуценты 5 видов, 2 гибридов и 1 культивара рода *Siringa* L.: сирень обыкновенная – *Syringa vulgaris* L., сирень мелколистная – *Syringa microphylla* Diels in Engl. Bot. Jahrb., сирень гималайская – *Syringa emodi* Wall, ex Royle Nymal., сирень Генри – *Syringa henryi* C. K. Schneid. in Fedde Bepert. (гибрид), сирень венгерская – *Syringa josikaea* Jacq. f. in Flora, сирень мохнатая – *Syringa villosa* Vahl, Enum. pl., сирень обыкновенная «Конго» – *Syringa vulgaris «Congo»* Lemoine (культивар)*. Деревья высажены в возрасте 6–8 лет. Каждый вид представлен 15–30 особями. Характеристика объектов исследований приведена в табл. 1.

Таблица 1
Характеристика объектов исследований

Вид сирени	Родина	Место происхождения саженцев, город	Возраст, лет
Syringa vulgaris	Балканский п-ов	Киев, ГБС	51
S. vulgaris f. congo	культивар	Москва, ГБС	53
S. microphylla	Сев. Китай	Москва, ГБС	53
S. emodi	Гималаи	Москва, ГБС	53
S. henryi	гибрид *S. villosa x S. josicaea*	Москва, ГБС	51
S. josikaea	Карпаты	Москва, ГБС	63
S. villosa	Китай, Сев. Корея	Москва, ГБС	51

© Кищенко И. Т., Потапова М. Н., 2014

Фенологические наблюдения проводили через каждые 3 сут., используя методические указания Н. Е. Булыгина [2]. Фиксировали время прохождения таких фенофаз, как набухание и распускание вегетативных и генеративных почек, начало и окончание роста побегов, обособление, распускание, завершение роста, расцвечивание и опадение листьев, опробковение побегов, бутонизация, цветение, заложение, созревание и опадение зрелых плодов. Фенофаза считалась наступившей, если она отмечалась не менее чем у 30 % побегов всех особей исследуемого вида.

Климатические данные были получены от Сулажгорской метеостанции (Карельская гидрометобсерватория), расположенной в 3 км юго-западнее Ботанического сада. Все выборки проверены на закон нормального распределения. Коэффициенты корреляции и различия между средними величинами оценены на достоверность. Из полученных элементарных статистик, в частности, следует, что показатель точности опыта составляет 6–7 %, а коэффициент вариации – 18–22 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что ритмика сезонного развития изучаемых видов *Syringa* имеет свои специфические особенности. Разные виды различаются по срокам наступления фенодат и по их продолжительности.

Анализ результатов статистической обработки показал, что ошибка средней многолетней величины фенодат весьма незначительна и, как правило, не превышает 0,5–1,0 сут. (табл. 2). Лишь для фазы созревания плодов ее величина увеличивается до 3–7 сут. Следует отметить, что повышенная погодичная вариабельность фенодат у *S. henryi* и *S vulgaris f. congo* в 1,5–2 раза выше, чем у других видов. По мнению Н. Е. Булыгина [3] и Н. В. Шкутко [12], это свидетельствует о более низком уровне адаптированности интродуцента к новым климатическим условиям.

Проведенные исследования позволили установить, что ритмика сезонного развития изучаемых видов *Syringa* имеет свои специфические особенности. По среднемноголетним данным, быстрее всего (3 V) вегетативные почки начинают набухать у *S. vulgaris* и *S. josikaea*. У *S. henryi* и *S. vulgaris f. congo* эта фенофаза начинается на 11–19 сут. позже.

Разверзание вегетативных почек также быстрее всего происходит у *S. vulgaris* и *S. josikaea* (14 V), а позже всего – *S. henryi* и *S. vulgaris f. congo* (21–28 V).

Линейный рост побегов начинается через 12–17 сут. после начала набухания вегетативных почек. У *S. vulgaris* и *S. josikaea* этот процесс начинается уже 20 V, а у *S. vulgaris f. congo* – только 7 VI. Рост побегов у *S. vulgaris f. congo* заканчивается 25 V, а у остальных видов он длится до начала июля (2–9 VII).

Таблица 2

Наступление различных фенофаз у видов *Syringa*

Фенофаза	*Syringa vulgaris*	*S. microphylla*	*S. emodi*	*S. henryi*	*S. josikaea*	*S. villosa*	*S. vulgaris f. congo*
Пг^1	3 V ± 0,4	10 V ± 0,5	7 V ± 0,5	14 V ± 0,6	3 V ± 0,4	7 V ± 0,4	21 V ± 0,7
Пг^2	14 V ± 0,5	21 V ± 0,5	17 V ± 0,4	21 V ± 0,7	14 V ± 0,5	17 V ± 0,5	28 V ± 0,8
Пб^1	20 V ± 0,6	23 V ± 0,6	23 V ± 0,6	26 VI ± 0,8	20 V ± 0,5	23 V ± 0,5	7 VI ± 1,0
Пб^2	7 VII ± 0,6	5 VII ± 0,6	2 VII ± 0,5	7 VII ± 0,8	2 VII ± 0,6	9 VII ± 0,6	25 VI ± 1,0
О^1	18 VI ± 0,7	18 VI ± 0,6	11 VI ± 0,7	11VI ± 1,0	15 VI ± 0,7	22 VI ± 0,7	22 VI ± 1,0
О^2	19 VII ± 0,7	19 VII ± 0,5	15 VII ± 0,6	22 VII ± 0,9	15 VII ± 0,7	24 VII ± 0,6	5 VII ± 0,9
Л^1	14 V ± 0,6	17 V ± 0,6	14 V ± 0,7	21 V ± 0,9	10 V ± 0,6	14 V ± 0,5	28 V ± 0,8
Л^2	4 VI ± 0,7	28 V ± 0,7	21 V ± 0,6	4VI ± 1,1	25 V ± 0,7	21 V ± 0,6	4 VI ± 1,1
Л^3	12 VII ± 0,7	15 VII ± 0,6	15 VII ± 0,7	15 VI ± 1,0	15 VII ± 0,6	12 VII ± 0,6	29 VI ± 0,9
Л^4	15 IX ± 0,8	15 IX ± 0,7	10 IX ± 07	15 IX ± 1,1	10 IX ± 0,8	15 IX ± 0,8	2 IX ± 1,0
Л^5	23 IX ± 0,8	23 IX ± 0,7	23 IX ± 0,8	28 IX ± 1,4	15 IX ± 0,9	23 IX ± 0,8	10 IX ± 1,4
Ц^1	21 V ± 0,5	28 V ± 0,4	21 V ± 0,5	1 VI ± 0,8	25 V ± 0,5	28 V ± 0,6	8 VI ± 0,8
Ц^2	28 V ± 0,6	4 VI ± 05	28 V ± 0,5	15 VI ± 0,7	8 VI ± 0,4	4 VI ± 0,6	15 VI ± 0,8
Ц^3	1 VI ± 0,7	8 VI ± 0,6	4 VI ± 0,6	18 VI ± 0,8	15VI ± 0,6	11 VI ± 0,8	22 VI ± 1,2
Ц^4	4 VI ± 0,8	15 VI ± 0,7	8 VI ± 0,8	22 VI ± 1,2	18 VI ± 0,8	15 VI ± 0,7	23 VI ± 1,4
Ц^5	15 VI ± 0,9	22 VI ± 0,9	15 VI ± 0,9	5 VII ± 1,4	29 VI ± 0,7	22 VI ± 0,9	27 VI ± 1,4
Пл^1	22 VI ± 1,4	25 VI ± 1,2	25 VI ± 1,0	12 VII ± 1,7	5 VII ± 0,9	25 VI ± 0,9	5 VII ± 1,6
Пл^2	8 VII ± 1,3	8 VII ± 1,4	12 VII ± 1,4	19 VII ± 2,0	15 VII ± 1,4	12 VII ± 0,4	5 VII ± 2,4
Пл^3	15 VII ± 2,5	21 VII ± 2,7	15 VIII ± 2,4	21 VIII ± 3,4	15 VIII ± 2,4	15 VIII ± 3,4	5 VII ± 4,4
Пл^4	11 IX ± 3,6	11 IX ± 3,4	10 IX ± 3,74	15 IX ± 7,4	25 IX ± 3,8	15 IX ± 3,3	5 VIII ± 6,4

Примечание. Обозначения фенофаз: Пг^1 – набухание почек; Пг^2 – разверзание почек; Пб^1 и Пб^2 – начало и окончание линейного роста побегов; О^1 – опробковение основания побегов; О^2 – опробковение ростовых побегов по всей длине; Л^1 – обособление листьев на побегах; Л^2 – листья не достигают нормальных размеров; Л^3 – завершение роста и вызревание листьев; Л^4 – расцвечивание отмирающих листьев; Л^5 – опадение листьев; Ц^1 – набухание генеративных почек; Ц^2 – разверзание генеративных почек; Ц^3 – бутонизация; Ц^4 – начало цветения; Ц^5 – окончание цветения; Пл^1 – завязывание плодов; Пл^2 – плоды достигают зрелых размеров; Пл^3 – созревание плодов; Пл^4 – опадение зрелых плодов.

Опробковение оснований побегов у всех изученных видов начинается во второй декаде VI. Процесс опробковения побегов по всей длине у *S. vulgaris f. congo* заканчивается 5 VII, что на 10–19 сут. раньше по сравнению с другими видами.

Обособление листьев у *S. vulgaris* и *S. vulgaris f. congo* начинается 21–28 V, а у других видов – почти на 2 недели раньше. Завершается рост листьев ранее всего (15–29 VI) у *S. henryi* и *S. vulgaris f. congo*, у остальных видов – в середине VII. В фазу расцвечивания отмирающих листьев *S. vulgaris f. congo* вступает уже 2 IX, а остальные виды – во второй декаде IX. Быстрее всего (10 IX) начинают опадать листья у *S. vulgaris f. congo.* У остальных видов эта фенофаза начинается на 1–2 недели позже.

Генеративные почки начинают обосабливаться на побегах у *S. henryi* и *S. vulgaris f. congo* уже 1–8 VI, а у других видов – на 2–3 недели позже. Разверзание почек у *S. vulgaris* и *S. emodi* начинается одновременно – 28 V, у других видов – через 1–2 недели (4–15 VI). Фаза бутонизации начинается ранее всего у *S. vulgaris* и *S. emodi* (1–4 VI), а позже всего – у *S. vulgaris f. congo* (22 VI). Начинается цветение у *S. vulgaris* и *S. emodi* 4–8 VI, у других видов – через 2–3 недели. Заканчивается цветения быстрее всего у *S. vulgaris* и *S. emodi* (15 VI), у других видов – в конце июня и даже в начале августа (*S. henryi*).

Завязывание плодов у *S. vulgaris, S. microphylla, S. emodi* и *S. villosa* происходит в конце июня, а у остальных видов – в начале июля. У изучаемых видов плоды достигают зрелых размеров с 5 по 19 VII. Первым в фазу созревания плодов вступает *S. vulgaris f. congo* (5 VII), спустя 2–3 недели – *S. vulgaris* и *S. microphylla*, а остальные виды – в середине августа. Зрелые плоды начинают опадать у *S. vulgaris f. congo* уже 5 VIII, у других видов – в середине и даже конце (*S. josikaea*) сентября.

Авторы многочисленных исследований (см., напр., [6], [8]) убедительно показали, что особенности развития различных видов растений обусловлены их неодинаковой требовательностью к экологическим факторам. Поэтому, определив диапазон толерантности основных фенофаз к экологическим факторам, можно судить о степени адаптации данного вида растений к условиям местообитания. Как показали исследования, температурный режим воздуха, в отличие от других факторов, остается стабильным в момент наступления очередной фазы за исследуемый период, что свидетельствует о влиянии данного фактора на развитие растений. К аналогичному выводу ранее пришли и другие авторы [1].

Исследования среднесуточных среднемноголетних значений экологических факторов во время прохождения фенофаз видов *Syringa* показали, что набухание вегетативных почек у *S. vulgari*, *S. emodi*, *S. josikaea* и *S. villosa* начинается при повышении среднесуточной температуры воздуха до +5…+7 °С. Для начала данной фенофазы у *S. henryi* и *S. vulgaris f. congo* требуется гораздо белее теплая погода (выше +16 °С). Разверзание вегетативных почек у двух последних видов, а также у *S. microphylla*, происходит при повышении температуры до +20 °С, у остальных видов – при +15 °С.

Линейный рост побегов у *S. henryi* и *S. vulgaris f. congo* начинается при повышении температуры до +13 °С, а у остальных видов – примерно до +10 °С. Данная фенофаза у всех видов завершается при температуре, близкой к +20 °С.

Опробковение побегов у изучаемых видов начинается при температуре около +11 °С, а заканчивается при температуре около +20 °С.

Обособление листьев на побегах *S. josikaea* и *S. vulgaris f. congo* происходит при сравнительно прохладной погоде (около +10 °С), у других видов – при +15…+20 °С. Завершение роста и расцвечивание отмирающих листьев у *S. vulgaris f. congo* наблюдается при наименьших значениях температуры (соответственно +15 и +9 °С), по сравнению с другими видами (соответственно +23 и +12 °С). Опадение листьев у изучаемых видов начинается при снижении температуры до +11 °С.

Фазы набухания, разверзания генеративных почек и бутонизации у разных видов начинаются при почти одинаковом температурном режиме (+10…+13 °С). Выяснилось, что *S. henryi* и *S. vulgaris f. congo* наиболее требовательны к температуре воздуха в начале и конце фазы цветении (+14…+16 и +22 °С).

Завязывание плодов у *S. josikaea, S. villosa* и *S. vulgaris f. congo* происходит при температуре более +20 °С, у других видов – всего при +12…+15 °С. Фаза созревания плодов при самых низких показателях теплообеспеченности (+12 °С) начинается у *S. microphylla*, *S. emodi* и *S. henryi*. Опадание плодов у изучаемых видов проходит при температуре воздуха +10…+14 °С.

ВЫВОДЫ

1. Изученные виды *Syringa* характеризуются значительным сходством по времени протекания большинства фенофаз.

2. Температура воздуха оказывает наиболее заметное влияние на динамику развития видов *Syringa.*

3. Все виды, за исключением *S. vulgaris f. congo*, хорошо адаптированы к новым условиям и потому перспективны для интродукции в условиях Карелии.

* Работа выполняется при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белорусец Е. Ш., Горб В. К. Сирень. Киев: Урожай, 1990. 176 с.
2. Булыгин Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: Изд-во ЛТА, 1979. 97 с.
3. Булыгин Н. Е. Принципы выделения дендроритмотипов и их индикационное значение в интродукции древесных растений // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: Материалы 2-й Междунар. науч. конф. (20–23 апреля 1999 г.). СПб.: Изд-во ЛТА, 1999. С. 111–113.
4. Колесниченко А. Н. Сезонные ритмы развития древесных интродуцентов // Охрана, изучение и обогащение растительного мира. Киев, 1985. № 12. С. 53–59.
5. Лапин П. И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюллетень ГБС АН СССР. 1967. Вып. 65. С. 12–18.
6. Лапин П. И. Научные основы и результаты интродукции древесных растений // Журн. общ. биол. 1977. № 5. С. 781–793.
7. Логинов В. Б. К методике построения частных теорий интродукции // Теории и методы интродукции растений и зеленого строительства: Материалы Респ. конф. Киев, 1980. С. 58–60.
8. Плотникова Л. С., Губина Е. М. Рост и развитие древесных растений в культуре // Сезонный ритм интродуцированных древесных растений флоры СССР. ГБС АН СССР. М., 1986. С. 127–149.
9. Потапова С. А. Динамика роста побегов интродуцированных видов сосен // Бюллетень ГБС АН СССР. 1985. Вып. 137. С. 28–31.
10. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
11. Шестопалова В. В. Итоги интродукции сосновых (*Pinaceae* Lindl.) на Среднерусской возвышенности и перспективы их использования: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. Киев, 1982. 22 с.
12. Шкутко Н. В. Хвойные Белоруссии. М.: Наука, 1991. 263 с.

Kishchenko I. T., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Potapova M. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

DEVELOPMENT OF INTRODUCED SPECIES OF SYRINGA (OLEACEAE) IN CONDITIONS OF KARELIA

The research was carried out in 1986–2011, on the premises of Botanic garden belonging to Petrozavodsk State University (southern Karelia, an average taiga subzone). The research objects were *Syringa vulgaris* L., *Syringa microphylla* Diels in Engl. Bot. Jahrb., *Syringa emodi* Wall, ex Royle Nymal., *Syringa henryi* C. K. Schneid. in Fedde Bepert., *Syringa josikaea* Jacq. f. in Flora, *Syringa villosa* Vahl, Enum. pl., *Syringa vulgaris "Congo"* Lemoine. It was found out that air temperature has a significant and noticeable impact on the dynamics of the *Syringa* species development. All species, except for *S. vulgaris f.* songo, adapted well to new conditions and, therefore, have good prospects for introduction in Karelia.

Key words: introduction, development, *Syringa*

REFERENCES

1. Belorusets E. Sh., Gorb V. K. *Siren'* [Lilac]. Kiev, Urozhay Publ., 1990. 176 p.
2. Bulygin N. E. *Fenologicheskie nablyudeniya nad drevesnymi rasteniyami* [Phenological observations of woody plants]. Leningrad, Izd-vo LTA, 1979. 97 p.
3. Bulygin N. E. Principles of defining dendroritmotipov and their value indicator in the introduction of woody plants [Printsipy vydeleniya dendroritmotipov i ikh indikatsionnoe znachenie v introduktsii drevesnykh rasteniy]. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rasteniy. Mateialy 2-y Mezhdunar. nauch. konf. (20–23 aprelya 1999 g.)* [Biodiversity. Plant introduction. Mater. 2nd Intern. scientific. conf. (20–23 April 1999)]. St. Petersburg, Izd-vo LTA, 1999. P. 111–113.
4. Kolesnichenko A. N. Development of seasonal rhythms for woody introducers [Sezonnye ritmy razvitiya drevesnykh introdutsentov]. *Okhrana, izuchenie i obogashchenie rastitel'nogo mira* [Guard, study and enrichment of the plant world]. Kyiv, 1985. № 12. P. 53–59.
5. Lapin P. I. Seasonal rhythm of development of woody plants and its importance for the introduction [Sezonnyy ritm razvitiya drevesnykh rasteniy i ego znachenie dlya introduktsii]. *Byulleten' GBS AN SSSR* [Bulletin GBS USSR]. 1967. Issue. 65. P. 12–18.
6. Lapin P. I. Scientific bases and results introduction of woody plants [Nauchnye osnovy i rezul'taty introduktsii drevesnykh rasteniy]. *Zhurn. obshch. biol.* [Mag. Society. biol.]. 1977. № 5. P. 781–793.
7. Loginov V. B. To the method of constructing specific theories on introductions [K metodike postroeniya chastnykh teoriy introduktsii]. *Teorii i metody introduktsii rasteniy i zelenogo stroitel'stva. Materialy Resp. konf.* [Theory and methods of introduction of plants and green building. Mater. Resp. conf.]. Kyiv, 1980. P. 58–60.
8. Plotnikova L. S., Gubina E. M. Growth and development of woody plants in culture [Rost i razvitie drevesnykh rasteniy v kul'ture]. *Sezonnyy ritm introdutsirovannykh drevesnykh rasteniy flory SSSR. GBS AN SSSR* [Seasonal rhythm of introduced woody plants of the USSR flora. GBS USSR]. Moscow, 1986. P. 127–149.
9. Potapova S. A. Dynamics of shoot growth of introduced species of pine [Dinamika rosta pobegov introdutsirovannykh vidov sosen]. *Byulleten' GBS AN SSSR* [Bulletin GBS USSR]. 1985. Issue. 137. P. 28–31.
10. Cherepanov S. K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR)]. St. Petersburg, Mir i sem'ya Publ., 1995. 992 p.
11. Shestopalova V. V. *Itogi introduktsii sosnovykh (Pinaceae Lindl.) na Srednerusskoy vozvyshennosti i perspektivy ikh ispol'zovaniya: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Results of the introduction of pine (*Pinaceae Lindl.*) On the Central Russian Upland and prospects of their use. Author. diss. … Candidate biol. Sciences]. Kyiv, 1982. 22 p.
12. Shkutko N. V. *Khvoynye Belorussii* [Conifer Belarus]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 263 p.

Поступила в редакцию 19.11.2013

Март, № 2 **Биология** **2014**

УДК 581.162

ЕЛЕНА ЛЕОНИДОВНА РОХЛОВА
аспирант кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
rokhlova@gmail.com

ГАЛИНА СТАНИСЛАВОВНА АНТИПИНА
доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
antipina@petrsu.ru

СЕМЕННОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ ДИЧАЮЩИХ ИЗ КУЛЬТУРЫ ВИДОВ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ*

Одним из показателей жизнеспособности интродуцентов является семенная продуктивность. Цель работы – изучение показателей семенного возобновления дичающих из культуры травянистых интродуцентов в условиях севера и оценка их потенциальной инвазионности. Исследование выполнено на примере *Echinocystis lobata* (Michaux) Torr. & A. Gray, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Xanthoxalis stricta* (L.) Small, *Symphytum asperum* Lepech., *Calendula officinalis* L., *Centaurea montana* L., *Helianthus tuberosus* L., которые часто культивируются в регионе как декоративные растения. Высоким показателем семенной продуктивности побега характеризуется *Xanthoxalis stricta* (в среднем 1096,2 семян при всхожести 14,8 %). Для других видов этот показатель составляет: *Helianthus tuberosus* – 249,0 (всхожесть 17,9 %); *Lupinus polyphyllus* – 184,8 (70,2 %); *Calendula officinalis* – 172,8 (36,4 %); *Echinocystis lobata* – 164,7 (40,1 %); *Symphytum asperum* – 107,4 (25,3 %); *Centaurea montana* – 14,4 (40,3 %). Из семян, сформировавшихся на одном побеге (с учетом всхожести семян), на следующий год развиваются от 6 (*Centaurea montana*) до 128 (*Lupinus polyphyllus*) и 164 (*Xanthoxalis stricta*) молодых растений, из которых до генеративного состояния доходят 10–50 %. Показатели семенного возобновления *Xanthoxalis stricta* и *Lupinus polyphyllus* близки к показателям инвазионного для Карелии вида *Impatiens glandulifera* Royle. *Xanthoxalis stricta* распространяется преимущественно по культурным участкам, *Lupinus polyphyllus* расселяется по нарушенным и вторичным местообитаниям. Исследованные виды характеризуются устойчивым семенным возобновлением в условиях севера, но возможности его недостаточны для их широкого распространения из мест возделывания и перехода в категорию инвазионных видов. Как потенциально инвазионный вид можно рассматривать *Lupinus polyphyllus*.

Ключевые слова: инвазионные виды растений, семенное размножение, семенная продуктивность

В настоящее время во всем мире натурализация растений-интродуцентов находится под пристальным вниманием ботаников и экологов, так как этот процесс может привести к инвазиям чужеродных видов, изменению местных экосистем, вытеснению аборигенных видов [3], [10]. Одним из главных показателей жизнеспособности растений в различных условиях является семенная продуктивность как составляющая репродуктивного процесса [4], [11].

Инвазионными для Карелии видами – «беглецами из культуры» среди травянистых растений являются два вида: *Impatiens glandulifera* Royle – недотрога железистая и *Heracleum sosnovskyi* Manden. – борщевик Сосновского. Эти растения широко распространены по синантропным местообитаниям [9] и могут рассматриваться как виды-трансформеры, изменяющие состав и структуру фитоценозов.

Целью данной работы является изучение показателей семенного размножения дичающих из культуры видов растений и оценка их потенциальной инвазионности.

Исследование выполнено в 2011–2013 годах в Южной Карелии (продолжительность вегетационного периода 153–160 дней, среднегодовое количество осадков 650–725 мм, среднегодовая температура 2,5–3,5 °С, средняя температура января –9,5 °С, июля 16,5 °С) [7].

В качестве модельных объектов выбраны семь видов травянистых интродуцентов. Они достаточно часто выращиваются в открытом грунте во дворах, на приусадебных и дачных участках и дичают из культуры, распространяются по культурным и нарушенным участкам. Эти виды относятся к адвентивной фракции региональной флоры, являются эунеофитами (выявлены на территории в последние 20–30 лет) и эргазиофигофитами (дичают из культуры).

Семенное размножение изучено на примере следующих видов (виды приведены в систематическом порядке):

© Рохлова Е. Л., Антипина Г. С., 2014

1. *Echinocystis lobata* (Michaux) Torr. & A. Gray (эхиноцистис лопастнолистный, семейство *Cucurbitaceae* – Тыквовые) – североамериканский, южно-умеренный вид, однолетник, терофит [8]. Соцветие – метелка, плод – тыквина.

2. *Lupinus polyphyllus* Lindl. (люпин многолистный, семейство *Fabaceae* – Бобовые) – североамериканский, умеренный вид, многолетник, гемикриптофит [8]. Соцветие – кисть, плод – боб.

3. *Xanthoxalis stricta* (L.) Small (желтокислица прямостоячая, семейство *Oxalidaceae* – Кислицевые) – восточноазиатский-североамериканский, южно-умеренный вид [8], многолетник, криптофит. Соцветие цимозное верхушечное, плод – коробочка.

4. *Symphytum asperum* Lepech. (окопник жестковолосистый, семейство *Boraginaceae* – Бурачниковые) – азиатский, южно-умеренный вид, многолетник, гемикриптофит [8]. Соцветие – завиток, плод – ценобий, распадающийся на четыре односеменных эрема (орешка).

5. *Calendula officinalis* L. (календула лекарственная, ноготки, семейство *Asteraceae* – Астровые) – европейский, южно-умеренный вид, однолетник, терофит [8]. Соцветие – гетерогамная корзинка, плод – семянка.

6. *Centaurea montana* L. (василек горный, семейство *Asteraceae* – Астровые) – европейский, южно-умеренный вид, многолетник, криптофит [8]. Соцветие – гетерогамная корзинка, плод – семянка.

7. *Helianthus tuberosus* L. (подсолнечник клубненосный, топинамбур, семейство *Asteraceae* – Астровые) – североамериканский, умеренный вид [8], многолетник, криптофит. Соцветие – гетерогамная корзинка, плод – семянка.

В местах произрастания видов были заложены учетные площадки размером 1 х 1 м^2, по 10 площадок на каждый вид [6]. Для изучения семенного размножения на каждой учетной площадке выбирали по одному генеративному побегу (выборка – 10 побегов), у которых определяли следующие показатели: число соцветий на побеге, число цветков в соцветии, число цветков на побеге, число плодов и семян в соцветии и на побеге. Всхожесть семян определялась по стандартной методике [5]. Латинские и русские названия приведены по Н. Н. Цвелеву [8]. Значимость различий показателей средней семенной продуктивности определяли с помощью критерия Стьюдента при доверительном интервале 0,05 и достоверности 95 %.

Некоторые показатели семенного размножения представлены в таблице и на рисунке.

Максимальной семенной продуктивностью среди исследованных видов выделяется желтокислица: каждая коробочка содержит до 26 мелких семян (в среднем 1096,2 семян на побеге). Семенная продуктивность трех исследованных растений (эхиноцистис, люпин, календула) (в среднем соответственно 164,7, 184,8 и 172,8 семян) значимо не различается. Различия средних показателей семенной продуктивности составляют (Тэ – эмпирическое значение критерия Стьюдента, Тт – табличное значение критерия Стьюдента, df – число степеней свободы): люпин и календула – Тэ 0,22 < Тт 2,06, df = 24; календула и эхиноцистис – Тэ 0,16 < Тт 2,04, df = 28; люпин и эхиноцистис – Тэ 0,89 < Тт 2,14, df = 14. Соответственно, различия между средними показателями семенной продуктивности этих видов не значимы.

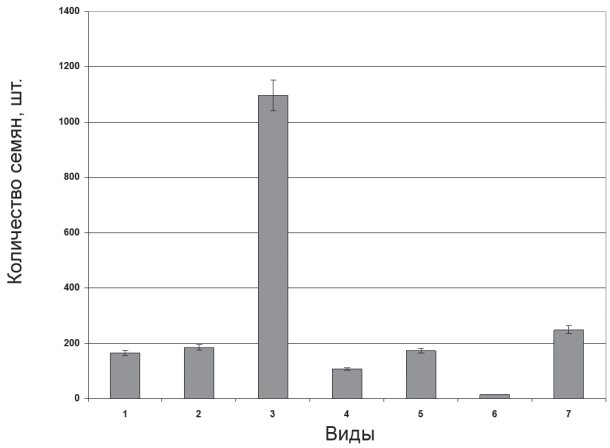
Показатели семенного размножения

Виды	Количество, шт. / побег			Всхожесть семян, %
	соцветий	цветков, формирующих плоды и семена	плодов	
Echinocystis lobata	43,2 ± 1,5	78,1 ± 2,9	41,2 ± 1,8	40,1
Lupinus polyphyllus	1	105,5 ± 10,1	42,4 ± 2,4	70,2
Xanthoxalis stricta	12,9 ± 1,3	46,1 ± 8,8	42,0 ± 8,3	14,8
Symphytum asperum	44,9 ± 6,7	987,7 ± 14,6	107,4 ± 1,4	25,3
Calendula officinalis	5,9 ± 3,3	214,0 ± 59,5	172,8 ± 49,5	36,4
Centaurea montana	1	37,4 ± 1,2	14,4 ± 2,5	40,3
Helianthus tuberosus	9,8 ± 3,1	541,3 ± 26,5	249,0 ± 57,1	17,9

Примечание. 1. Плоды и семена формируют: у *Lupinus polyphyllus, Xanthoxalis stricta, Symphytum asperum* – все цветки, *у Echinocystis lobata* – женские цветки, *у Calendula officinalis, Centaurea montana, Helianthus tuberosus* – трубчатые цветки гетерогамной корзинки; 2. Для *Symphytum asperum* приведены данные о количестве эремов (орешков).

На одном побеге окопника в среднем формируется 107,4, на одном побеге топинамбура – 249,0 семян (см. рисунок). Низкая семенная продуктивность василька (14,4 семян) связана с тем, что побег несет единственное соцветие – корзинку с небольшим количеством трубчатых цветков.

Реализация потенциальной семенной продуктивности (она соответствует количеству семязачатков) происходит при формировании семян. Важность этого показателя демонстрирует, например, окопник жестковолосистый. Он характеризуется максимальной среди исследованных видов потенциальной семенной продуктивностью (в каждом цветке 4 семязачатка, потенциально побег может дать около 4000 семян). Однако основная часть семязачатков (почти 97 %) не формирует семян, и фактическая семенная продуктивность побега составляет лишь около 100 семян (см. таблицу, рисунок). Это явление может быть обусловлено неполным развитием генеративных клеток, несостоявшим-



Семенная продуктивность побега: 1 – *Echinocystis lobata*, 2 – *Lupinus polyphyllus*, 3 – *Xanthoxalis stricta,* 4 – *Symphytum asperum*, 5 – *Calendula officinalis*, 6 – *Centaurea montana*, 7 – *Helianthus tuberosus*

ся опылением, самостерильностью и другими причинами.

Всхожесть семян у исследованных видов (за исключением люпина) можно оценить как низкую или среднюю (см. таблицу).

Из семян, сформировавшихся на одном побеге (с учетом всхожести семян), на следующий год развиваются от 6 (василек) до 128 (люпин) и 164 (желтокислица) проростков. Однако не более половины из них доживают до генеративного состояния, так как основная часть проростков гибнет от различных причин, главной из которых являются весенние заморозки.

По интенсивности семенного возобновления выделяются два вида: желтокислица прямостоячая и люпин многолистный. У желтокислицы это обусловлено высокой семенной продуктивностью побега (около 1100 семян) при небольшой всхожести семян – около 15 %, тогда как у люпина, наоборот, сочетанием сравнительно невысокой семенной продуктивности (около 200 семян) и высокой всхожести семян (около 70 %). Эти показатели, по всей вероятности, отражают разные жизненные стратегии дичающих видов. Желтокислица – эксплерент, она способна быстро распространяться по культурным и нарушенным участкам, однако не выдерживает конкуренции с другими видами. Люпин реализует жизненную стратегию, близкую к виолентам, может становиться доминантным видом на вторичных участках, увеличивая численность и постепенно расширяя занимаемую площадь.

По классификации уровней жизненности интродуцированных растений на севере России [1], все исследованные виды можно отнести к пятому уровню жизненности: растения завершают полный цикл развития, самостоятельно размножаются семенным путем на культурных и нарушенных участках.

Для оценки потенциальной инвазионности исследованных видов проведено сравнение семенной продуктивности этих видов и инвазионного для Карелии вида недотроги железистой. В селитебных местообитаниях семенная продуктивность одного побега недотроги железистой составляет около 300 семян при всхожести 60 % [9].

Показатели семенного возобновления (количество новых растений семенного происхождения, которое может дать один побег) эхиноцистиса, окопника, календулы, топинамбура, василька достоверно ниже, чем у недотроги железистой.

У двух исследованных видов – люпина многолистного и желтокислицы прямостоячей – показатели семенного возобновления достоверно не отличаются от аналогичных данных для недотроги железистой. Различия средних показателей семенного возобновления составляют: люпин и недотрога – Тэ 0,84 < Тт 2,14, df = 124; желтокислица и недотрога – Тэ 0,13 < Тт 2,10, df = 18.

При этом желтокислица распространяется преимущественно по открытым возделываемым участкам, так как растения плохо переносят затенение и задернение почвы. Люпин, наоборот, в последние годы расселяется в Карелии вдоль автомобильных и железных дорог, постепенно входит в состав нарушенных естественных растительных сообществ.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что люпин многолистный при продвижении на север сохраняет высокий инвазионный потенциал. Систематические наблюдения за распространением люпина в ближайшие 10–15 лет позволят оценить, насколько он будет реализован в условиях Карелии.

Таким образом, исследованные травянистые растения, интродуцированные в условиях Южной Карелии, характеризуются устойчивым семенным возобновлением. Однако возможности его (формирование, количество и всхожесть семян) недостаточны для широкого распространения видов с мест возделывания и перехода в категорию инвазионных видов. Как потенциально инвазионный для Карелии вид можно рассматривать *Lupinus polyphyllus* – люпин многолистный.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев Г. Н. Об уровнях жизненности интродуцентов // Ботанические исследования в Субарктике. Апатиты, 1974. С. 61–70.
2. Антипина Г. С., Шуйская Е. А., Гнатюк Е. П., Рохлова Е. Л. Аннотированный список интродуцированных видов травянистых растений, культивируемых в городе Петрозаводске // Hortus botanicus. 2012. № 7 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://hb.karelia.ru

3. Вайнагий И. В. О методике изучения семенной продуктивности растений // Ботанический журнал. 1974. Т. 59. № 6. С. 826–831.
4. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.
5. ГОСТ 24933.2-81. Семена цветочных культур. Методы определения всхожести и энергии прорастания от 01.07.1987 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://vsegost.com/Catalog/13/13865.shtml
6. Ипатов В. С., Кирикова Л. А. Фитоценология. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 205 с.
7. Назарова Л. Е. Климат // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. С. 6–8.
8. Цвелев Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб.: Изд-во СПХФА, 2000. 781 с.
9. Шуйская Е. А., Антипина Г. С. Семенная продуктивность недотроги железистой (*Impatiens glandulifera* Royle) в Южной Карелии // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2009. № 14. С. 151–156.
10. Mooney H. A., Hobbs R. J. (Eds.) Invasive Species in a Changing World. Washington, D.C.: Island Press, 2000. 456 p.
11. Richardson D. M., Pysek P., Rejmanek M., Barbour M. G., Panetta F. D., West C. J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // Diversity and distribution. 2000. Vol. 6. P. 93–107.

Rokhlova E. L., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Antipina G. S., Petrozavodsk State University (Petrozaovodsk, Russian Federation)

SEED REPRODUCTION OF RUNNING WILD PLANT SPECIES IN CONDITIONS OF SOUTHERN KARELIA

One of the indicators of introducents' vitality is seed production. We studied indicators of seed reproduction in herbaceous species, which are becoming wild in the north, and their invasive possibility. The model objects were *Echinocystis lobata* (Michaux) Torr. & A. Gray, *Lupinus polyphyllus* Lindl., *Xanthoxalis stricta* (L.) Small, *Symphytum asperum* Lepech., *Calendula officinalis* L., *Centaurea montana* L., *Helianthus tuberosus* L. These species are often cultivated as adornment plants in the region. We found out that *Xanthoxalis stricta* had the highest rate of seed production (average 1096,2 seeds, germination is 14,8 %). For other species those indices were: *Helianthus tuberosus* – 249,0 (germination 17,9 %); *Lupinus polyphyllus* – 184,8 (70,2 %); *Calendula officinalis* – 172,8 (36,4 %); *Echinocystis lobata* – 164,7 (40,1 %); *Symphytum asperum* – 107,4 (25,3 %); *Centaurea montana* – 14,4 (40,3 %). The indices of seed reproduction of *Xanthoxalis stricta* and *Lupinus polyphyllus* are close to that of *Impatiens glandulifera* Royle. (invasive species for Karelia). *Xanthoxalis stricta* spreads primarily on cultural sites, *Lupinus polyphyllus* settles on disturbed and secondary habitats. The model species have steady seed reproduction in northern conditions. But this capacity is not sufficient for wide dissemination from places of cultivation and, therefore, for transition into the category of invasive species. *Lupinus polyphyllus* can be considered potentially invasive species.

Key words: invasive species of plants, seed breeding, seed production

REFERENCES

1. Andreev G. N. About the levels of introducents vitality [Ob urovnyakh zhiznennosti introdutsentov]. *Botanicheskie issledovaniya v Subarktike* [Botanical research in the Subarctic]. Apatity, 1974. P. 61–70.
2. Antipina G. S., Shuyskaya E. A., Gnatyuk E. P., Rokhlova E. L. Annotated list of introduced species of herbaceous plants cultivated in Petrozavodsk [Annotirovannyy spisok introdutsirovannykh vidov travyanistykh rasteniy, kul'tiviruemykh v gorode Petrozavodske]. *Hortus botanicus.* 2012. № 7. Available at: http://hb.karelia.ru
3. Vaynagiy I. V. On research methodology of seed production in plants [O metodike izucheniya semennoy produktivnosti rasteniy]. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal]. 1974. Vol. 59. № 6. P. 826–831.
4. Vinogradova Yu. K., Mayorov S. R., Khorun L. V. *Chernaya kniga flory Sredney Rossii* [The Black Book of the flora of Central Russia]. Moscow, GEOS Publ., 2010. 512 p.
5. *GOST 24933.2-81. Semena tsvetochnykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti i energii prorastaniya ot 01.07.1987* [GOST 24933.2-81. Flower seeds. Methods for determination of germination and seedling vigor of 01.07.1987]. Available at: http://vsegost.com/Catalog/13/13865.shtml
6. Ipatov V. S., Kirikova L. A. *Fitotsenologiya* [The phytosociology]. St. Petersburg, SPbSU Publ., 1997. 205 p.
7. Nazarova L. E. Climate [Climat]. *Raznoobrazie bioty Karelii: usloviya formirovaniya, soobshchestva, vidy* [The diversity of biota of Karelia: conditions of formation, cenosis, species]. Petrozavodsk, KarSC Publ., 2003. P. 6–8.
8. Tsvelev N. N. *Opredelitel' sosudistykh rasteniy Severo-Zapadnoy Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti)* [The field guide of vascular plants of the North-Western Russia (Leningrad, Pskov and Novgorod Regions)]. St. Petersburg, SPbSPhA Publ., 2000. 781 p.
9. Shuyskaya E. A., Antipina G. S. Seed productivity of *Impatiens glandulifera* Royle in South Karelia [Semennaya produktivnost' nedotrogi zhelezistoy (*Impatiens glandulifera* Royle) v Yuzhnoy Karelii]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya* [Bulletin of the Tver State University. Series: Biology and Ecology]. 2009. № 14. P. 151–156.
10. Mooney H. A., Hobbs R. J. (Eds.) Invasive Species in a Changing World. Washington, D.C.: Island Press, 2000. 456 p.
11. Richardson D. M., Pysek P., Rejmanek M., Barbour M. G., Panetta F. D., West C. J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // Diversity and distribution. 2000. Vol. 6. P. 93–107.

Поступила в редакцию 17.01.2014

Март, № 2 **Биология** **2014**

УДК 5972/.5

ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ РЫЖКОВ
доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, заведующий лабораторией экологических проблем Севера, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
rlp@petrsu.ru

ИЛЬЯ НИКИТИЧ ОНИЩЕНКО
аспирант агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
mazik-t@yandex.ru

НИКИТА АЛЕКСАНДРОВИЧ ОНИЩЕНКО
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии, рыбоводства и товароведения агротехнического факультета, декан агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
nao@sampo.ru

ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ШУСТОВ
доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
shustov@petrsu.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АБОРИГЕННЫХ ОЗЕРНЫХ РЫБ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ФОРЕЛЕВОЙ ФЕРМЫ*

В период открытой воды (май – октябрь) 2011–2012 годов на озере Вохтозеро (Россия, Карелия) проводилось изучение влияния деятельности садкового хозяйства по выращиванию радужной форели на поведение рыбы, обитающей в данном водоеме. Дикая рыба отлавливалась на трех станциях: непосредственно у садков, в 100–200 м от садков и самой удаленной точке от садкового хозяйства – в 4,5 км. Результаты исследования показали, что в летний период вокруг садков в больших количествах скапливаются окунь (*Perca fluviatilus* Linnaeus, 1758) и плотва (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758). Они в это время активно питаются остатками гранулированного корма, тем самым утилизируют отходы корма форели и способствуют самоочищению водоема. Существующий запрет вылова дикой рыбы в акватории форелевого хозяйства способствует сохранению популяций аборигенных видов рыб.

Ключевые слова: озерные условия, поведение и распределение озерных рыб, садковая форелевая ферма

ВВЕДЕНИЕ

Аквакультура – одно из самых древних занятий человека, и в настоящее время все больше и больше морских и пресноводных видов рыб и беспозвоночных выращивается в искусственных условиях. Однако, получая дополнительную пищевую продукцию, человек в то же время наносит ущерб естественным экосистемам, в первую очередь загрязняя водоемы как отходами жизнедеятельности выращиваемых водных животных, так и остатками самого корма. Например, установлено, что на лососевых фермах теряется до 20 % корма, который становится концентрированным кормовым ресурсом для многих диких видов рыб, скапливающихся вокруг ферм [20]. Плотоядные средиземноморские ставриды, питающиеся в обычных условиях молодью рыб и ракообразными, почти полностью переходят на питание гранулами потерянного корма, когда образуют скопления вокруг садков [18].

В связи с тем что в Республике Карелия в последние десятилетия наращивается производство радужной форели в садках, размещенных в озерах, нас заинтересовал весьма актуальный вопрос: как изменяется поведение, распределение, питание и рост аборигенных озерных рыб в зоне влияния форелевых хозяйств?

По литературным данным хорошо известно, что всякие новые предметы, попавшие в воду, привлекают рыб, многие из них становятся местами их укрытия. Естественно, что когда человек начал выращивать рыб в садках, расположенных в водоемах, многие аборигенные рыбы стали не только из любопытства плавать около садков, но и активно питаться искусственным кормом, выносимым из них. Например, установлено, что большинство диких рыб вблизи рыбных хозяйств

© Рыжков Л. П., Онищенко И. Н., Онищенко Н. А., Шустов Ю. А., 2014

используют потерянные корма в пищу и тем самым сокращают отходы, достигающие дна, до 80 % [25]. Прибрежные морские рыбные фермы могут влиять на дикие популяции рыб за счет более высокой доступности кормов – ткань сети обеспечивает укрытие в пелагических условиях, а гранулы потерянного корма, вероятно, усиливают привлекательный эффект [12]. Есть мнение, что следует сохранять дикую рыбу у садков, поскольку она снижает воздействие остатков корма на донные осадки [15]. При этом установлено, что поведение рыб существенно изменяется, а их распределение иногда носит достаточно сложный сезонный характер [18], [21].

Установлено также, что в некоторых морских акваториях концентрация аборигенных видов рыб в зоне влияния садков становится настолько высокой и уязвимой для бесконтрольного их отлова, что в некоторых странах уже ставится вопрос о создании в таких водоемах морских охраняемых районов (МОР) вокруг прибрежных объектов аквакультуры [15], [17]. Рыбоводческие фермы площадью всего 1–4 га могут концентрировать вокруг себя до 40 тонн дикой рыбы [16]. В противном случае эта рыба была бы рассеяна на сотнях тысяч гектаров [15]. Это явление широко распространено по всему миру. Большие скопления диких рыб наблюдаются вокруг рыбных ферм вдоль средиземноморского побережья Испании [15] и Греции [23], вокруг Канарских островов [13], [24], Шотландии [14], Норвегии [12], Австралии [17].

В России же, включая и Карелию, этому вопросу практически не уделялось внимания. Имеются лишь отдельные сведения о концентрациях местных видов рыб в районах размещения садков [9]. В основном «карельская» научная литература посвящена расчетам мощности форелевых хозяйств и контролю за качеством водной среды [3], [8], [10]. О том, что происходит с местной рыбой, обитающей в водоемах с функционирующими садковыми хозяйствами, сведений крайне мало. Так, имеются данные о влиянии форелевых ферм на гидрохимический режим и состояние биоты [4], [22], на состав, численность и биомассу озерного зоопланктона [5] и зообентоса [11]. В отношении озерных рыб имеются лишь некоторые сведения о том, что нерест сигов может быть нарушен из-за загрязнения нерестилищ отходами жизнедеятельности от «садковых» рыб [2].

Наше сообщение посвящено исследованию поведения и сезонного распределения аборигенных видов рыб в озере Вохтозеро, расположенном на юге Карелии. В этом водоеме уже более пяти лет успешно функционирует садковое форелевое хозяйство.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Вохтозеро принадлежит к бассейну Ладожского озера: акватория около 9 км^2, наибольшая длина – 7,8 км, ширина – 2 км, средняя глубина – 11 м, максимальная – 35 м. Отличается высокой прозрачностью – до 5 м. В конце мая озеро освобождается от ледяного покрова, в середине июля в отдельные годы температура воды может достигать 27–28 °С, а в конце октября начинается процесс льдообразования. В составе местной ихтиофауны обнаружено 10 видов рыб: ряпушка, сиг, форель, щука, налим, ерш, окунь, плотва, язь, но наиболее многочисленные из аборигенных видов – плотва, ряпушка и окунь [5].

В 2007 году на озере было создано форелевое садковое хозяйство «Радужная форель». В 2008–2011 годах ежегодно выращивалось до 160 тонн товарной радужной форели. Форелевые садки были размещены в 20 м от берега на свале глубин, начиная с глубины в 8 м и до глубины в 16 м. Садки размерами 8 х 8 м и глубиной 6 м были установлены рядом друг с другом (6 садков для крупной форели и 2 садка для молоди). Форель кормят два раза в сутки: утром (в 8–9 часов) и вечером (в 18–20 часов).

Исследования проводились в период открытой воды, весной, летом и осенью 2011 и 2012 годов. Контроль за поведением и распределением местной рыбы проводился на 3 станциях: в непосредственной близости у садков, в 100–200 м от садков и самой удаленной точке от садкового хозяйства – в 4,5 км. Для этого использовались: эхолот (Humminbird 160) – для регистрации как отдельных рыб разного размера, так и скоплений рыб на различных глубинах; видеосканер (подводная камера JJ-Connect Underwater Camera Mono) – для визуального наблюдения за поведением конкретных видов рыб на небольших глубинах; жаберные сети и крючковые снасти (спиннинги, донные удочки) – для анализа состава пищи, измерения массы и определения возраста рыб [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общий характер распределения местных видов рыб в оз. Вохтозеро на исследованных станциях представлен в табл. 1 и 2, где приведены сведения о температуре воды и отмечены основные особенности поведения рыб.

На протяжении вегетационного периода в 2011 году местная рыба в зоне влияния садков и на отдаленной станции распределялась следующим образом:

Май. Станция 1 (около садков) – отловлено 3 окуня средней массой 92,7 г и средним возрастом 5,3 года и 15 экз. плотвы средней массой 62,6 г и средним возрастом 2,8 года. В жаберные сети сразу после вечернего кормления форели попало 13 экз. ряпушки средней массой 54,2 г в возрасте 4 лет. Эхолот каких-либо скоплений рыб не зафиксировал.

Станция 2 (в зоне 100–200 м от садков) – было отловлено 16 окуней (средняя масса 123,6 г, возраст 6,2 года) и средняя по размерам плотва (13 экз., масса – 139,0 г, средний возраст – 3,4 года). Эхолот скопления рыб не зафиксировал.

Таблица 1

Особенности распределения местных видов рыб в оз. Вохтозеро (май – октябрь 2011 года)

Время проведения исследований, температура воды	Распределение рыб		
	Станция 1, около садков	Станция 2, в 100–200 м от садков	Станция 3, в 4,5 км от садков
19–20 мая t° – 8 °С	Наблюдаются подходы окуня, плотвы и ряпушки	Наблюдаются подходы окуня и плотвы	Отмечены отдельные рыбы
25–26 июня t° – 13 °С	Наблюдается массовый подход окуня и плотвы	Наряду с мелочью отмечены отдельные крупные рыбы	Отмечены отдельные рыбы средних размеров
23–24 июля t° – 24 °С	Наблюдается подход озерных рыб	Отмечены мелочь, отдельные рыбы крупных и средних размеров	Отмечены отдельные рыбы
19–20 августа t° – 15 °С	Отмечены плотные скопления рыб	Много мелких и встречены отдельные крупные рыбы	Рыбы практически отсутствуют
8–9 октября t° – 9 °С	Отмечены небольшие скопления рыб	Отмечены отдельные средние рыбы	Рыбы практически отсутствуют
26 октября t° – 6 °С	Отмечены отдельные мелкие рыбы	Рыбы практически отсутствуют	Рыбы полностью отсутствуют

У окуней при вскрытии в желудках были обнаружены гранулы форелевого корма.

Станция 3 (на удалении от садков в 4,5 км) – ни в жаберные сети, ни на крючковые снасти рыба не ловилась. Эхолот регистрировал на разных глубинах отдельных рыб.

Июнь. На станции 1 отловлено 12 экз. окуня средней массой 90,0 г и средним возрастом 4,6 года и 20 экз. плотвы средней массой 136,0 г и средним возрастом 3,4 года. В видеосканер можно было наблюдать, как крупная плотва и мелкий окунь на глубинах 2–4 м активно питаются остатками гранулированного корма во время кормления и примерно в течение одного часа после его прекращения. Затем питание местных рыб форелевым кормом резко прекращается, хотя эхолот в это время регистрировал картину «двойного дна» на глубинах 2–4 м (массовое скопление местных рыб).

На станции 2 отловлено 23 окуня средней массой 85,3 г и средним возрастом 4,2 года. Гранулированный корм в желудках окуней полностью отсутствовал. Эхолот отметил лишь отдельные экземпляры крупных рыб (возможно, окуня).

На станции 3 отловлено 9 окуней средней массой 34,4 г и средним возрастом 4,4 года. Эхолот отмечал отдельных рыб среднего размера. Видеосканер показал, что окуни активно питаются естественной пищей.

Июль. В результате жаркой погоды и высоких температур воды выращиваемая форель уже две недели не кормилась. На станции 1 отловлено 59 окуней средней массой 107,7 г и средним возрастом 6,5 года и 13 экз. плотвы средней массой 126,0 г и средним возрастом 3,5 года. Видеосканер показал, что как крупные окуни, так и плотва, да и сама форель в садках, в эту теплую погоду держатся на глубинах 4–6 м.

На станции 2 отловлено 16 окуней средней массой 96,8 г в возрасте 5 лет. Эхолот регистрировал редкие экземпляры крупной и средней рыбы только у дна, в толще воды рыба не отмечена. Гранулы в желудках отловленных окуней не обнаружены, только беспозвоночные и мальки рыб.

На станции 3 около мысов и на мелководье на спиннинг активно клевал окунь. Было отловлено 17 рыб средней массой 50,3 г и средним возрастом 4,2 года. В сети в это время днем ничего не ловилось, возможно, из-за того, что рыба «видит» и избегает сети. Эхолот отметил отдельных рыб в прибрежной зоне мысов.

Август. Форель уже на протяжении двух недель кормят. На станции 1 отловлено 6 окуней средней массой 61,2 г и средним возрастом 3,2 года и 19 экз. крупной плотвы средней массой 165,2 г и средним возрастом 3,9 года. Видеосканер отмечал плотные скопления плотвы и среднего окуня на глубинах 4–6 м. Эхолот также регистрировал скопления рыб.

На станции 2 отловлено 25 экз. крупного окуня средней массой 204,5 г и средним возрастом 7,1 года, а также 20 экз. плотвы средней массой 94,7 г и средним возрастом 3,6 года. Эхолот регистрировал отдельных крупных рыб (возможно, окуней).

На станции 3 выловлено 2 окуня массой 67,0 г и возрастом 3 года. Эхолот показывал полное отсутствие рыбы.

Начало октября. Форель в садках продолжает активно питаться. На станции 1 отловили 20 экз. плотвы (средняя масса – 87,1 г, средний возраст – 2,7 года). Эхолот регистрировал небольшие скопления средних по размеру рыб, мелкие рыбы практически отсутствуют. Сети с мелкой ячеей (20–11 мм) пустые. Видеосканер отмечает плотву на глубинах 6–7 м в количестве гораздо меньшем, чем в летние месяцы.

На станции 2 отловили 7 экз. крупного окуня (средняя масса – 334,0 г, возраст – 7,0 года) и 20 экз. плотвы средней массой 113,5 г и средним возрастом 3,6 года. Эхолот регистрирует отдельных рыб среднего размера.

На станции 3 выловили только одного окуня массой 41,0 г в возрасте 3 лет. Эхолот показывал полное отсутствие рыбы на всех горизонтах.

Конец октября. Форель в садках интенсивно питается. На станции 1 эхолотом регистрируются отдельные мелкие рыбы. В то же время рыба

не ловится ни жаберными сетями, ни крючковыми снастями.

На станции 2 выловлено 4 окуня средней массой 63,5 г и средним возрастом 4,3 года. Эхолот рыбу не регистрирует.

На станции 3 рыба не ловится, эхолот также ничего не регистрирует.

В период исследований в 2012 году выявлены следующие особенности распределения местных видов рыб при функционировании садкового хозяйства (табл. 2).

Май. На станции 1 отловлены 4 крупных окуня средней массой 225,3 г, средний возраст – 7,3 года и 9 экз. плотвы средним весом 125 г, возраст – 4,7 года. Видеосканер показал, что местная рыба, в основном плотва, концентрируется в верхних горизонтах, не глубже 5 м от поверхности воды. Причем больше рыб распределяется со стороны тока воды из садков, который выносит остатки корма, не съеденного форелью. В сети рыба также попадалась, в основном на глубине до 2 м. Аналогичная ситуация характерна и для крючковых снастей – рыба ловилась только в верхних горизонтах, где образовался теплый слой воды.

На станции 2 выловлено 11 экз. крупного окуня средней массой 165,2 г, средний возраст – 5,8 года. Также было выловлено 11 экз. плотвы средней массой 129,2 г в возрасте 3,2 года. Эхолот регистрировал лишь отдельных рыб.

На станции 3 был выловлен лишь один средний окунь массой 84,0 г в возрасте 6 лет. Эхолот регистрировал отдельных мелких и средних рыб.

Июнь. На станции 1 выловлены один окунь массой 412 г в возрасте 12 лет и 37 экз. мелкой плотвы средней массой 94,6 г, средний возраст 3,4 года. Эхолот и видеосканер регистрировали в верхних горизонтах воды (до 2 м) небольшие скопления рыб – крупного окуня и мелкой плотвы.

На станции 2 отловлено 13 окуней средней массой 72,3 г и средним возрастом 4,7 года. Эхолот регистрировал отдельных рыб.

На станции 3 ни на крючковые снасти, ни в сети рыба не ловилась. Эхолот регистрировал отдельных рыб в толще воды.

Начало июля. На станции 1 поймано 2 окуня средней массой 90 г в возрасте 4 лет и 31 экз. плотвы средней массой 132,6 г и средним возрастом 3,4 года. Эхолот и видеосканер регистрировали небольшие скопления рыб – плотвы и мелкого окуня. Клев плотвы на крючковые снасти наблюдался исключительно в период кормления форели и в течение получаса после его прекращения.

На станции 2 отловлено в основном на спиннинг 17 экз. окуня средней массой 68,7 г и средним возрастом 3,8 года. Эхолот регистрировал отдельных рыб.

На станции 3 на спиннинг выловлены 3 окуня средней массой 105 г и средним возрастом 7,3 года. Эхолот регистрировал отдельных рыб мелких и средних размеров, особенно в прибрежной зоне около мысов.

Таблица 2

Особенности распределения местных видов рыб в оз. Вохтозеро (май – сентябрь 2012 года)

Время проведения исследований, температура воды	Распределение рыб		
	Станция 1	Станция 2	Станция 3
27–28 мая t° – 14 °C	Наблюдаются небольшие концентрации рыб	Отмечены отдельные рыбы	Отмечены отдельные рыбы мелких и средних размеров
9 июня t° – 13 °C	Наблюдаются небольшие скопления рыб	Отмечены отдельные рыбы	Отмечены отдельные рыбы
7–8 июля t° – 18 °C	Наблюдаются небольшие скопления рыб	Много мелочи, встречаются отдельные крупные рыбы	Отмечены отдельные рыбы мелких и средних размеров
27–28 июля t° – 20 °C	Наблюдаются скопления рыб	Мелочь и отдельные крупные рыбы	Отмечены отдельные рыбы мелких и средних размеров
18–19 августа t° – 20 °C	Отмечены большие скопления рыб	Мелочь и отдельные крупные рыбы	Отмечены отдельные рыбы средних размеров
29–30 сентября t° – 11 °C	Скопления рыб не отмечены	Отмечены отдельные рыбы	Отмечены отдельные рыбы средних размеров

Конец июля. На станции 1 пойманы 12 мелких окуней средней массой 68,0 г и средним возрастом 3,2 года и 31 экз. плотвы средней массой 136,7 г в возрасте 4,3 года. Эхолот регистрировал небольшие скопления рыбы. Видеосканер показал во время начала кормления форели активные подходы к садкам плотвы, а также мелких и средних окуней. В этот период плотва активно ловилась на гранулы форелевого корма, а окунь все же предпочитал не гранулы, а живую наживку – червей, опарышей.

На станции 2 поймано 12 крупных окуней средней массой 204 г и средним возрастом 8,4 года и 4 экз. крупной плотвы средней массой 204 г и средним возрастом 4,5 года. Эхолот регистрировал отдельные экземпляры крупных рыб. Видеосканер наблюдал крупную плотву и крупных окуней. При вскрытии у некоторых окуней в желудках найдена молодь окуня.

На станции 3 на спиннинг добыто 18 экз. мелких окуней средней массой 68,0 г и средним возрастом 3,2 года. В сети рыба не ловилась. Эхолот регистрировал отдельных рыб средних и мелких размеров.

Август. На станции 1 выловлено 3 мелких окуня средней массой 51,7 г и средним возрастом 3,3 года.

На станции 2 количество выловленных крупных окуней возросло до 18 экз. средней массой 261 г (средний возраст – 6,6 года) и до 15 экз. крупной плотвы массой 173,1 г и возрастом 5,3 года. Эхолот регистрирует отдельные экземпляры крупных рыб. В желудках некоторых крупных окуней находились мелкие сородичи.

На станции 3 только на спиннинг поймано 18 экз. мелкого окуня средней массой 52,5 г при среднем возрасте 4,2 года. Эхолот регистрировал отдельных рыб средних размеров.

Сентябрь. Форель в садках активно кормится. На станции 1 улов представлен 12 экз. мелкой плотвы (средняя масса – 45,0 г, средний возраст – 2,7 года). Эхолот регистрировал очень малое количество рыб в зоне садков. Окуни практически отсутствовали, возможно, они ушли в глубоководную часть водоема на зимовку.

На станции 2 отловлено лишь 3 крупных окуня (средняя масса – 131,1 г, возраст – 5 лет) и 5 экз. плотвы (средняя масса – 135,4 г, средний возраст – 4,6 года). Эхолот регистрировал отдельных рыб преимущественно у дна.

На станции 3 на спиннинг поймано 3 окуня средней массой 88,3 г и средним возрастом 7,3 года. Эхолот регистрировал отдельных рыб в толще воды.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение поведения и распределения местных видов рыб – окуня и плотвы – в оз. Вохтозеро в течение двух вегетационных периодов (май – октябрь 2011 года и май – сентябрь 2012 года) позволило выявить существенные изменения в их экологии, вызванные наличием форелевого хозяйства.

Установлено, что в летний период окунь и плотва в основном концентрируются у садков (табл. 1 и 2), где активно питаются остатками гранулированного корма, выносимого из садков. Обычно же в карельских озерах (в том числе и в оз. Вохтозеро) окунь и плотва летом образуют небольшие стайки и держатся разрозненно [1].

О высокой концентрации местных рыб у садков (станция 1) в летний период можно судить по показателям их вылова. В июле вылов окуней достиг 61 особи, плотвы – 44 особей. В июне и августе отмечены очень высокие величины вылова плотвы (57 и 50 экз. соответственно). Судя по содержанию кормовых гранул в пищеварительном тракте, плотва охотнее поедает искусственный корм, чем окунь. Окунь же нередко переходит на питание естественной пищей и отходит от садков в район станции 2. При этом плотные скопления рыб наблюдаются не только в верхних горизонтах, эхолот регистрировал их высокие концентрации на разных горизонтах, даже на глубинах 20–28 м.

Ранней весной (май) и осенью (сентябрь – октябрь) местная рыба не концентрируется у садков, а распределяется в других районах озера. Весной это связано с нерестом, а осенью с зимовкой. Интересно отметить, что осенью, несмотря на кормление форели, местные рыбы уходят на глубину для зимовки. Это значит, что общий биологический цикл (сезонная ритмика жизнедеятельности) развития рыб, даже в условиях садковых хозяйств, сохраняется.

Пищевая активность местных видов рыб вблизи садков напрямую связана с режимом кормления форели в садках. В частности, ряпушку удалось выловить только сразу после кормления форели, постановка сетей вблизи садков ни до, ни после кормления не привела к поимке этого вида рыбы. Плотва и окунь в непосредственной близости от садков также активно ловились на крючковые снасти с самого начала кормления форели и еще примерно в течение 30 минут после него. Попытки поймать местную рыбу позже не увенчались успехом, несмотря на то что эхолот показывал ее значительные скопления. Аналогичное поведение местных видов рыб мы наблюдали в других садковых хозяйствах на других озерах. Это значит, что четкий режим кормления форели вырабатывает соответствующие пищевые рефлексы у местных рыб.

Что касается прекращения потребления пищи местными рыбами после кормления форели, то можно предположить, что они полностью насыщаются искусственным кормом и перестают реагировать на любые другие пищевые объекты, включая и живые корма.

Весьма часто у садков и в акватории их воздействия, как показали уловы, преобладают в основном крупные рыбы. Вполне вероятно, что крупного окуня более привлекают к садкам значительные концентрации молоди рыб, в том числе окуня, чем сам гранулированный корм. Средняя и крупная плотва, по-видимому, имеет преимущества в захвате искусственного корма перед мелкими особями (позиция силы). Возможно, что мелкая плотва не может захватывать достаточно большие гранулы корма, доступные только крупным экземплярам.

В целом же следует отметить, что наличие скоплений местных видов рыб в акваториях воздействия садковых хозяйств имеет важное значение в минимизации их негативного воздействия на окружающую среду, интенсифицируя утилизацию потерянного корма и тем самым способствуя самоочищению водоема. Наряду с этим садковые хозяйства имеют большую положительную роль в сохранении и защите естественной ихтиофауны озера, поскольку в пределах выделенной акватории форелевого хозяйства лов рыбы запрещен.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивантер Д. Э., Рыжков Л. П. Рыбы. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004, 176 с.
2. Ильмаст Н. В. Рыбное население пресноводных экосистем Карелии в условиях их хозяйственного освоения: Автореф. … д-ра биол. наук. М., 2012. 44 с.
3. Китаев С. П., Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В. Охрана окружающей среды при выращивании форели в Карелии // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2007. № 2. С. 9–16.
4. Киуру Т., Виема Й., Туркка Ю.-П., Хейниман М., Эскилинен У., Юпитало А., Хартикайнен Ю., Хейнимаа С., Попов Н., Паньков В., Рыжков Л., Пепеляев И. Экологический справочник для рыбоводной промышленности Северо-Запада России. Хельсинки, 2013. 112 с.
5. Кучко Я. А. Влияние форелевого хозяйства на сообщество зоопланктона озерно-речной экосистемы: Автореф. … канд. биол. наук. Петрозаводск, 2004. 12 с.
6. Онищенко И. Н., Рыжков Л. П., Онищенко Н. А. Вохтозеро – водоем садкового рыбоводства // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». № 2 (131). 2013. С. 23–26.
7. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М., 1966. 245 с.
8. Рыбоводно-биологическое обоснование на организацию форелевого садкового хозяйства на озере Вохтозеро Пряжинского района. Петрозаводск: Аквакультура, 2008. 84 с.
9. Рыжков Л. П., Дзюбук И. М., Горохов А. В., Марченко Л. П., Артемьева Н. В., Иешко Т. А., Рябинкина М. Г., Раднаева В. А. Состояние водной среды и биоты при функционировании садковых форелевых хозяйств // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 2. С. 1–9.
10. Рыжков Л. П., Кучко Т. Ю., Дзюбук И. М. Основы рыбоводства: Учебник. СПб: Лань, 2011. 487 с.
11. Савосин Е. С. Макрозообентос и его динамика при выращивании товарной форели в Карелии: Автореф. … канд. биол. наук. Петрозаводск, 2010. 20 с.
12. Bjordal A., Skar A. B. Tagging of saithe (Pollachius virens L.) at a Norwegian fish farm: preliminary results on migration // ICES Comm Meet. Pap. 1992.
13. Boyra A., Nascimento F. J. A., Tuya F., Sanchez-Jerez P., Haroun R. J. Impact of sea-cage fish farms on intertidal macrobenthic assemblages // J. Mar. Biol. Ass. U.K. 2004. 84 (3): 665–668.
14. Carss D. N. Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages // Aquaculture. 1990. 90: 29–40.
15. Dempster T., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J. T., Giménez-Casalduero F., Valle C. Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the south-western Mediterranean Sea: spatial and short-term temporal variability // Mar. Ecol. Prog. 2002. Ser. 242: 237–252.
16. Dempster T. Biology of fish associated with moored fish aggregation devices (FADs): implications for the development of a FAD fishery in New South Wales, Australia. 2004. Fish Res 68: 189–201.
17. Dempster T., Fernandez-Jover D., Sanchez-Jerez P., Tuya F., Bayle-Sempere J., Boyra A., Haroun R. J. Vertical vari-ability of wild fish assemblages around sea-cage fish farms: implications for management // Mar. Ecol. Prog. 2005. Ser. 304: 15–29.
18. Fernandez-Jover D., Lopez-Jimenez J. A., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J., Gimenez-Casalduero F., Martinez-Lopez F. J., Dempster T. Changes in body condition and fatty acid composition of wild Mediterranean horse mackerel (Trachurus mediterraneus, Steindachner, 1868) associated with sea cage fish farms // Mar Environ. Res. 2007. 63: 1–18.
19. Fernandez-Jover D., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J. T., Arechavala-Lopez P., Martinez-Rubio L., Lopez Jimenez J., Martinez Lopez F. J. Coastal fish farms are settlement sites for juvenile fish // Mar. Environ. Res. 2009. 68: 89–96.
20. Gowen R. J., Bradbury N. B. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review // Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 1987. 25: 563–575.
21. Letourneur Y., Darnaude A., Salen-Picard C., Harmelin-Vivien M. Spatial and temporal variations of fish assemblages in a shallow Mediterranean soft-bottom area // Gulf of Fos. (France). 2001. 24: 273–280.
22. Ryzhkov L. P., Dzyubuk I. M., Gorokhov A. V., Marchenko L. P., Artem'eva N. V., Ieshko T. A., Ryabinkina M. G., Radnaeva V. A. The State of the Aquatic Environment and Biota during Operation of Trout Breeding Pond Farms // Vodnye Resursy. 2011. Vol. 38. № 2. P. 239–247.
23. Thetmeyer H., Pavlidis A., Cromey C. Development of monitoring guidelanes and modelling tools for environmental effects from Mideterranean aquaculture. MERAMED Project. Newslatter 3: Interactions between wild and farmed fish. 2003. P. 7.
24. Tuya F., Sanchez-Jerez P., Dempster T., Boyra A., Haroun R. Changes in demersal wild fish aggregations beneath a sea-cage fish farm after the cessation of farming // J. Fish. Biol. 2006. 69: 682–697.
25. Vita R., Marín A., Madrid J. A., Jiménez-Brinquis B., Cesar A., Marín-Guirao L. Effects of wild fishes on waste exportation from a Mediterranean fish farm // Mar. Ecol. Prog. 2004. Ser. 277: 253–261.

Ryzhkov L. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Onishchenko I. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Onishchenko N. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Shustov Yu. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

FEATURES OF INDIGENOUS LAKE FISH ALLOCATION IN AREAS INFLUENCED BYTROUT FARMS

A study of the impact exerted by the rainbow trout cage farms on characteristic features and distribution patterns of indigenous lake fish was carried out on the lake Vohtozero (Russia, Karelia) during open water period (May – October, 2011–2012). Species of indigenous fish were caught at three points: in close vicinity from the cage farm, at a distance of 100–200 m, and at a distance of 4,5 km – the most distant point from the cage farm. It was revealed that perch (*Perca fluviatilus* Linnaeus, 1758) and roach (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) accumulate around cages in large quantities during summer season. They actively feed on the remains of pelleted feed. Therefore, indigenous fish, inhabiting water reserves employed by cage farms,on the one hand, utilize waste feed and, on the other hand, contribute to the self-cleaning of the pond. The current ban on fish capture in water reserves hosting working rainbow trout fish farms is instrumental in preservation of indigenous fish population.

Keywords: lake conditions, behavior and allocation of indigenous lake fish, trout cage farm

REFERENCES

1. Ivanter D. E., Ryzhkov L. P. *Ryby* [Fish]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2004. 176 p.
2. Il'mast N. V. *Rybnoe naselenie presnovodnykh ekosistem Karelii v usloviyakh ikh khozyaystvennogo osvoeniya. Avtoref. ... d-ra biol. nauk* [Fish population of freshwater ecosystems in Karelia in conditions of their economic development Author's synopsis on achievement scientific degree of Doctor of Biological Sciences]. Moscow, 2012. 44 p.
3. Kitaev S. P., Sterligova O. P., Il'mast N. V. Protection of the environment for trout growing in Karelia [Okhrana okruzhayushchey sredy pri vyrashchivanii foreli v Karelii]. *Rybovodstvo i rybnoe hozyaystvo* [Aquaculture and fisheries]. 2007. № 2. P. 9–16.
4. Kiuru T., Viema J, Turkka Yu.-P., Heyniman M., Eskilinen U., Yupitalo A., Khartikaynen J., Heynimaa S., Popov N., Pan'kov V., Ryzhkov L., Pepelyaev I. *Ekologicheskiy spravochnik dlya rybovodnoy promyshlennosti Severo-Zapada Rossii* [Environmental handbook for hunting and fishing industries of Northwestern Russia]. Hel'sinki, 2013. 112 p.
5. Kuchko Ya. A. *Vliyanie forelevogo khozyaystva na soobshchestvo zooplanktona ozerno-rechnoy ekosistemy: Avtoref. ... kand. biol. nauk* [The trout farm impact on the community of zooplaktone lake – river ecosystem. Author's synopsis on achievement scientific degree of Philosophy Doctor (Biology)]. Petrozavodsk, 2004. 12 p.
6. Onishchenko I. N., Ryzhkov L. P., Onishchenko N. A. Vohtozero – the lake where netcage fish farming is realized [Vohtozero – vodoem sadkovogo rybovodstva*]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tehnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2013. № 2 (131). P. 23–26.
7. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnykh)* [Handbook on fish study (mostly freshwater)]. Moscow, 1966. 245 p.
8. *Rybovodno-biologicheskoe obosnovanie na organizatsiyu forelevogo khozyaystva na ozere Vokhtozero Pryazhinskogo rayona* [LLC "Akvatoriya". Fish breeding biological basis for organization of trout cage farm in Lake Vohtozero District Priazhinsky]. Petrozavodsk, Akvakul'tura Publ., 2008. P. 84.
9. Ryzhkov L. P., Dzjubuk I. M., Gorohov A. V., Marchenko L. P., Artem'eva N. V., Ieshko T. A., Ryabinkina M. G., Radnaeva V. A. State of the aquatic environment and biota in the presence of functioning netcage trout farms [Sostoyanie vodnoy sredy i bioty pri funktsionirovanii sadkovykh forelevykh hozyaystv]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 2013. № 2 (38). P. 1–9.
10. Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu., Dzyubuk I. M. *Osnovy rybovodstva: Uchebnik* [Textbook Fundamentals of aquaculture]. St. Peterburg, Lan' Publ., 2011. 487 p.
11. Savosin E. S. *Makrozoobentos i ego dinamika pri vyrashchivanii tovarnoy foreli v Karelii: Avtoref. ... kand. biol. nauk* [Macrozoobenthos and its dynamics in growing commodity trout in Karelia. Author's synopsis on achievement scientific degree of Philosophy Doctor (Biology)]. Petrozavodsk, 2010. P. 20.
12. Bjordal A., Skar A. B. Tagging of saithe (Pollachius virens L.) at a Norwegian fish farm: preliminary results on migration // ICES Comm Meet. Pap. 1992.
13. Boyra A., Nascimento F. J. A., Tuya F., Sanchez-Jerez P., Haroun R. J. Impact of sea-cage fish farms on intertidal macrobenthic assemblages // J. Mar. Biol. Ass. U.K. 2004. 84 (3): 665–668.
14. Carss D. N. Concentrations of wild and escaped fishes immediately adjacent to fish farm cages // Aquaculture. 1990. 90: 29–40.
15. Dempster T., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J. T., Giménez-Casalduero F., Valle C. Attraction of wild fish to sea-cage fish farms in the south-western Mediterranean Sea: spatial and short-term temporal variability // Mar. Ecol. Prog. 2002. Ser. 242: 237–252.
16. Dempster T. Biology of fish associated with moored fish aggregation devices (FADs): implications for the development of a FAD fishery in New South Wales, Australia. 2004. Fish Res 68: 189–201.
17. Dempster T., Fernandez-Jover D., Sanchez-Jerez P., Tuya F., Bayle-Sempere J., Boyra A., Haroun R. J. Vertical vari-ability of wild fish assemblages around sea-cage fish farms: implications for management // Mar. Ecol. Prog. 2005. Ser. 304: 15–29.
18. Fernandez-Jover D., Lopez-Jimenez J. A., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J., Gimenez-Casalduero F., Martinez-Lopez F. J., Dempster T. Changes in body condition and fatty acid composition of wild Mediterranean horse mackerel (Trachurus mediterraneus, Steindachner, 1868) associated with sea cage fish farms // Mar Environ Res. 2007. 63: 1–18.
19. Fernandez-Jover D., Sanchez-Jerez P., Bayle-Sempere J. T., Arechavala-Lopez P., Martinez-Rubio L., Lopez Jimenez J., Martinez Lopez F. J. Coastal fish farms are settlement sites for juvenile fish // Mar. Environ. Res. 2009. 68: 89–96.
20. Gowen R. J., Bradbury N. B. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review // Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. 1987. 25: 563–575.
21. Letourneur Y., Darnaude A., Salen-Picard C., Harmelin-Vivien M. Spatial and temporal variations of fish assemblages in a shallow Mediterranean soft-bottom area // Gulf of Fos. (France). 2001. 24: 273–280.
22. Ryzhkov L. P., Dzyubuk I. M., Gorokhov A. V., Marchenko L. P., Artem'eva N. V., Ieshko T. A., Ryabinkina M. G., Radnaeva V. A. The State of the Aquatic Environment and Biota during Operation of Trout Breeding Pond Farms // Vodnye Resursy. 2011. Vol. 38. № 2. P. 239–247.
23. Thetmeyer H., Pavlidis A., Cromey C. Development of monitoring guidelanes and modelling tools for environmental effects from Mideterranean aquaculture. MERAMED Project. Newslatter 3: Interactions between wild and farmed fish. 2003. P. 7.
24. Tuya F., Sanchez-Jerez P., Dempster T., Boyra A., Haroun R. Changes in demersal wild fish aggregations beneath a sea-cage fish farm after the cessation of farming // J. Fish. Biol. 2006. 69: 682–697.
25. Vita R., Marín A., Madrid J. A., Jiménez-Brinquis B., Cesar A., Marín-Guirao L. Effects of wild fishes on waste exportation from a Mediterranean fish farm // Mar. Ecol. Prog. 2004. Ser. 277: 253–261.

Поступила в редакцию 03.12.2013

Март, № 2 **Биология** **2014**

УДК 574.24

АНЖЕЛЛА ВАЛЕРЬЕВНА СОНИНА
кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
angella_sonina@mail.ru

ЭКОТОПИЧЕСКОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭПИЛИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ В СКАЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ НА ТЕРРИТОРИИ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ*

На возвышенностях Оловгора и Муройгора кряжа Ветреный пояс (Архангельская область) в условиях скальных лесных сообществ изучено распространение эпилитных лишайников. Показано, что освещенность значимо изменяется в зависимости от угла наклона поверхности субстрата. Это позволило считать световой фактор основным при распределении эпилитных лишайников в условиях скальных типов леса. В зависимости от числа видов лишайников в описании и условий освещенности выделено три типа экотопов. I – горизонтальные отрицательно наклоненные поверхности (положение под камнем), II – вертикальные поверхности, III – горизонтальные положительно наклоненные поверхности. Экотопический анализ показал, что при отсутствии нарушений и наличии большого числа микрониш (микроместообитаний) эпилитный лишайниковый покров развивается по естественному направлению в сукцессионном ряду от накипных лишайников к листоватым и кустистым.

Ключевые слова: эпилитные лишайники, скальные лесные сообщества, экотоп, Ветреный пояс, Архангельская область

ВВЕДЕНИЕ

Скальные типы леса в пределах северо-запада России являются довольно редкими и вместе с зеленомошными и вересковыми занимают не более 8 % площади всех лесов [3]. Они характеризуются недостатком влаги, слаборазвитыми почвами, разреженным древостоем, наличием скального субстрата, значительным участием эпилитных лишайников в мохово-лишайниковом ярусе [3], [4], [5]. Эпилитные лишайники, являясь биодеструкторами скального субстрата, выполняют важную роль в первичных процессах почвообразования, формируя условия для заселения других организмов. В Архангельской области скальные лесные сообщества широко представлены в пределах кряжа Ветреный пояс. В этом районе ведутся лесозаготовки, разрабатываются карьеры для добычи камня, в то же время оценка состояния биотического комплекса не произведена. Цель нашей работы – изучить экотопические особенности в распространении эпилитной группы лишайников.

МЕСТО ИССЛЕДОВАНИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследование выполнено на территории Архангельской области на двух возвышенностях кряжа Ветреный пояс – Муройгора и Оловгора – в период 2010–2012 годов. Изучен эпилитный лишайниковый покров на северо-восточных склонах возвышенностей в пределах геоботанических профилей 20 х 120 м, на пробных площадях 10 х 20 м (Муройгора), 20 х 20 м (Оловгора), где выполнены полные геоботанические описания растительного покрова. Описания эпилитного лишайникового покрова сделаны на учетных площадках 10 х 20 см, где отмечали видовое разнообразие лишайников, покрытие отдельных видов, общее покрытие видов и параметры среды: экспозиция к сторонам света, угол наклона поверхности субстрата, освещенность, петрография субстрата. Растительный покров был описан на 14 пробных площадях, эпилитный лишайниковый покров – на 400 учетных площадках. Муройгора (высота около 200 м) образована обломочными глыбами диабазов. Оловгора, самая высокая точка Ветреного пояса (344 м), – выходами в виде обломков базальтов и гранитоидов [2]. На вершине Муройгоры формируется ельник скальный черничный, в центральной ее части – сосняк скальный лишайниково-зеленомошный, в основании – ельник черничный зеленомошный. В условиях Оловгоры на протяжении всего профиля формируются еловые растительные сообщества. Растительный комплекс исследованных возвышенностей за последние 150 лет не был подвержен нарушениям, о чем свидетельствует анализ кернов деревьев [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ характеристик лишайникового покрова в зависимости от параметров среды показал, что число видов лишайников и общее покрытие лишайников в описании изменяются в зависимости от угла наклона поверхности субстрата в пределах от отрицательных значений углов (горизонтальные поверхности, расположенные под камнем) до положительных. При этом угол наклона поверхности скального субстрата и относительная освещенность показывают значимую связь, что позволяет рас-

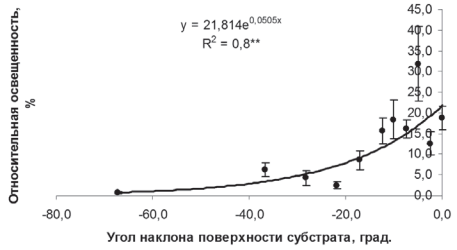
© Сонина А. В., 2014

сматривать условия освещенности – световой фактор в качестве основного при распределении эпилитных лишайников в условиях скальных типов леса (рис. 1, 2). Таким образом, в зависимости от освещенности выделяются три типа поверхностей субстратов (экотопов), которые различаются видовым составом лишайников: I – горизонтальные отрицательно наклоненные поверхности (положение под камнем), II – вертикальные поверхности, III – горизонтальные положительно наклоненные поверхности.

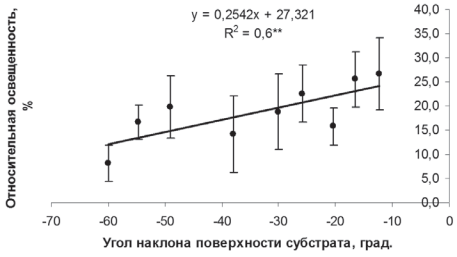
Первый тип экотопов выделяется на протяжении всех исследованных склонов, представляет собой поверхность, расположенную под камнем (–10…–65°). Здесь складываются особые условия для обитания лишайников: недостаток света, повышенная влажность (под камнями дольше задерживается снег, лед), температуры ниже, чем на открытых освещенных участках. Приход светового потока не превышает 30 % с минимальными значениями 5 %. В данных условиях обитают в среднем не более пяти видов лишайников. Четыре из них являются доминантами на Муройгоре: *Lepraria neglecta* (Nyl.) Erichsen, *Rhizocarpon hochstetteri* (Körb.) Vain., *Cystocoleus ebeneus* (Dillwyn) Thwaites и *Arcthoparmelia centrifuga* (L.) Hale. На Оловгоре выделяются три вида, доминирующие в лишайниковом покрове: *Lepraria incana* (L.) Ach., *Cystocoleus ebeneus* и *Arcthoparmelia centrifuga*.

Чаще и обильнее других встречаются виды: *Lepraria incana* – этот вид типичен для затененных местообитаний (встречен на склоне Оловгоры, где формируются еловые лесные сообщества) и *Lepraria neglecta* – вид, предпочитающий освещенные местообитания [6], встречен на склоне Муройгоры в условиях сосновых лесных сообществ. Вид *Arcthoparmelia centrifuga* встречается на более или менее освещенных местах, поэтому в данном экотопе обитает ближе к вертикальным поверхностям. Эти виды формируют сложные многовидовые синузии, или одновидовые скопления. При этом на камнях образуются хорошо заметные пятна серого (если пятно сформировано видами рода *Lepraria*), ярко-желтого (*Psilolechia lucida* (Ach.) M. Choisy) или черного (*Cystocoleus ebeneus*) аспектов. Общее покрытие видов в описании – 10–60 %.

Второй тип экотопа – вертикальные поверхности (–10…+10°), также отмечаются на всех исследованных склонах. На вертикальные поверхности приходится в среднем 50 % освещенности. Условия освещенности существенно изменяются от экспозиции поверхности, времени суток и местоположения камня внутри фитоценоза (на открытом месте находится камень или под пологом древесного яруса). При выходе на вертикальную поверхность камня число видов лишайников в описании значимо увеличивается и на Муройгоре ($P < 0{,}001$), и на Оловгоре ($P < 0{,}05$), то есть в условиях как сосновых, так и еловых скальных сообществ. Здесь встречаются порядка 12 видов лишайников. Общее покрытие лишайников в описании значимо не изменяется на обоих склонах и составляет 30–60 %. На вертикальных поверхностях в покрове еще доминируют *Lepraria neglecta* и *Arctoparmelia centrifuga*, что указывает на их светолюбие и широкую экологическую амплитуду к условиям освещенности. В зависимости от микроусловий на таких поверхностях доминантами в покрове также выступают накипные виды ризокарпонов, порпидий или листоватые, такие как *Parmelia omphalodes* (L.) Ach. В лишайниковые синузии включается большее число видов листоватых жизненных форм и выпадают виды *Psilolechia*

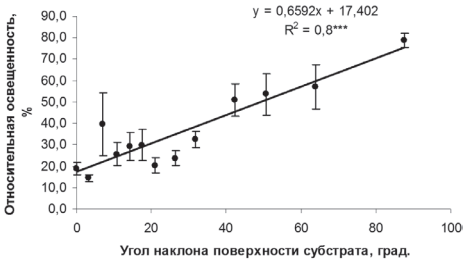


А – Муройгора

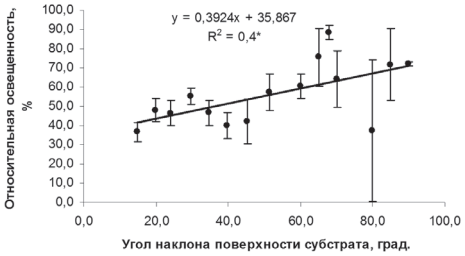


Б – Оловгора

Рис. 1. Условия освещенности местообитания в зависимости от угла наклона скальной поверхности (отрицательные углы, положение под камнем)



А – Муройгора



Б – Оловгора

Рис. 2. Относительная освещенность местообитания в зависимости от угла наклона скальной поверхности (положительные углы)

lucida, *Cystocoleus ebeneus*, приуроченные к более влажным, затененным местообитаниям.

Третий тип экотопов – положительно наклоненные поверхности (+10…+90°). Эти экотопы более освещены, уровень освещенности местообитания – от 30 до 100 %. Условия освещения на таких типах поверхностей зависят главным образом от местоположения камня в фитоценозе. Именно для этого экотопа большое значение начинает играть структура субстрата (степень его проработки – наличие ямок, трещин и пр.).

Меньшее число видов в описании (в среднем в описании не более 6 видов лишайников), чем, например, на вертикальных поверхностях, свидетельствует о сформировавшихся более стабильных синузиях. Доминирование почти в 50 % описаний *Arcthoparmelia centrifuga* позволяет отнести состояние эпилитного лишайникового покрова к сукцессионной стадии с доминированием листоватых биоморф (промежуточная стадия в ряду накипные – листоватые – кустистые лишайники) [1]. Преобладание почти в трети описаний накипных лишайников свидетельствует о формировании лишайникового покрова на инициальной стадии. Это результат довольно суровых условий, которые складываются в скальных типах сообществ для лишайников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное эколого-ценотическое исследование эпилитного лишайникового покрова в скальных растительных сообществах показало, что эпилитным лишайникам принадлежит важная роль первопоселенцев на скальных обнажениях, что особенно значимо в суровых условиях среды в северных регионах. Доминирующим фактором выступает световой фактор, который связан с углом наклона скальной поверхности. При отсутствии нарушений и наличии большого числа микрониш (микроместообитаний) эпилитный лишайниковый покров развивается по естественному направлению в сукцессионном ряду от накипных лишайников к листоватым и кустистым.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубкова Н. С., Бязров Л. Г. Жизненные формы лишайников и лихеносинузии // Ботанический журнал. 1989. Т. 74. № 6. С. 749–805.
2. Куликова В. В., Куликов В. С., Бычкова Я. В. К вопросу о вулкано-плутонической системе «вулкан Голец – интрузив Руйга» // Геология и полезные ископаемые Карелии / КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2007. Вып. 10. С. 69–81.
3. Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 262 с.
4. Скальные ландшафты Карельского побережья Белого моря: природные особенности, хозяйственное освоение, меры по сохранению. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 212 с.
5. Тарасова В. Н., Сонина А. В. Формирование напочвенного покрова в зависимости от глубины залегания кристаллических пород в скальных лесных сообществах Водлозерского национального парка (Архангельская область) // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1 (5). С. 1379–1382.
6. The Lichen flora of Great Britain and Ireland / Ed. by O. W. Purvis, B. J. Coppins, D. L. Hawksworth, P. W. James & D. M. Moore. 1992. 710 p.

Sonina A. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

HABITAT DISTRIBUTION OF LICHEN SPECIES IN ROCKY FOREST COMMUNITIES OF ARCHANGELSK REGION

Distribution of epilithic lichens along the ecotopes of rocky forest communities of the Windy Belt mountains (Archangelsk region) – Olovgora and Muroygora – was studied. The study of environmental parameters showed significant variations in illumination intensity according to the angle of the substrate surface. We assume that the light is the main factor influencing distribution of epilithic lichens in different types of rocky forests. Three types of ecotopes have been allocated. The number of lichen species, the angle of substrate surface, and intensity of illumination were instrumental in the process of ecotopes' allocation. These types are: I – horizontal negatively inclined rock surface (position under a rock), II – vertical rock surfaces, III – horizontal positively inclined rock surface. According to the obtained data, in the absence of the long-term environment destruction and in the presence of multiple microniches, development of epilithic lichen cover in rocky forest communities proceedes naturally from crustose lichens to foliose and fruticose biomorphs.

Key words: epilithic lichens, rocky forest communities, ecotope, Windy belt, Archangelsk region

REFERENCES

1. Golubkova N. S., Byazrov L. G. Life forms of lichens and lichen communities [Zhiznennye formy lishaynikov i likhenosinuzii]. *Botanicheskiy zhurnal*. 1989. Vol. 74. № 6. P. 749–805.
2. Kulikova V. V., Kulikov V. S., Bychkova Ya. V. To the question of Volcano-Plutonic system "volkano Golets – intrusive Ruyga" [K voprosu o vulkano-plutonicheskoy sisteme "vulkan Golets – intruziv Ruyga"]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and mineral resources of Karelia]. Petrozavodsk, 2007. Is. 10. P. 69–81.
3. *Raznoobrazie bioty Karelii: usloviya formirovaniya, soobshchestva, vidy* [Biodiversity of Karelia: conditions of forming, communities and species]. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS Publ., 2003. 262 p.
4. *Skal'nye landshafty Karel'skogo poberezh'ya Belogo morya: prirodnye osobennosti, hozyaystvennoe osvoenie, mery po sokhraneniyu* [Rupestrian landscapes of the White Sea Karelian Coast: natural characteristics, economic utilization, conservation]. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS Publ., 2008. 212 p.
5. Tarasova V. N., Sonina A. V. Formation of soil cover depending on occurrence depth of crystalline in the rocky forest communities of Vodlozersky National Park (Archangelsk region) [Formirovanie napochvennogo pokrova v zavisimosti ot glubiny zaleganiya kristallicheskikh porod v skal'nykh lesnykh soobshchestvakh Vodlozerskogo natsional'nogo parka (Arkhangel'skaya oblast')]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Izvestiya of Samara Research Centre RAS]. 2012. Vol. 14. № 1 (5). P. 1379–1382.
6. The Lichen flora of Great Britain and Ireland / Ed. by O. W. Purvis, B. J. Coppins, D. L. Hawksworth, P. W. James & D. M. Moore. 1992. 710 p.

Поступила в редакцию 14.02.2014

Март, № 2 **Биология** **2014**

УДК 599.32:599.36/38

НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА СИККИЛЯ
заместитель директора по научно-исследовательской работе и экологическому мониторингу, заповедник «Костомукшский» (Костомукша, Российская Федерация)
natik.zam@gmail.com

ФАУНИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ЗАПОВЕДНИКА «КОСТОМУКШСКИЙ»

Приведены результаты исследований фауны и численности мелких млекопитающих на территории заповедника «Костомукшский». По результатам многолетних исследований зарегистрировано 13 видов мелких млекопитающих.

Ключевые слова: мелкие млекопитающие, видовой состав, доминирование, численность

Территория заповедника «Костомукшский», созданного в 1983 году, расположена в северной подзоне тайги в пределах Кемского флористического района, Балтийского кристаллического щита, на восточном склоне Западно-Карельской возвышенности. Кристаллический фундамент сложен преимущественно гранитогнейсами и почти полностью перекрыт супесчаной мореной. Район характеризуется доминированием грядового и холмисто-грядового рельефа с преобладанием соснового леса. Его доля составляет 83,7 % от общей площади, занятой лесом, на ельники приходится 16 % территории. Еловые леса приурочены к подножьям склонов и долинам рек и ручьев. В приручейных понижениях встречаются березово-еловые и березовые заболоченные леса. Луга имеют крайне органичное распространение, встречаются по берегу озера Каменного в местах бывших поселений. Они занимают 88 га, или 0,2 % от площади заповедника.

Изучение фауны и экологии мелких млекопитающих района исследования началось еще до строительства города и горно-обогатительного комбината ОАО «Карельский окатыш», в 1972 году, сотрудниками лаборатории зоологии позвоночных КФ АН СССР [1], [2], позднее, в 1987–1989 годах, сотрудниками факультета биогеографии Московского государственного университета [6]. Перед экспедициями была поставлена цель исследования фауны в целом. С основания в 1987 году научного отдела в заповеднике были организованы многолетние стационарные наблюдения за мелкими млекопитающими [7].

С 1987 года на исследуемой территории достоверно отмечено 13 видов мелких млекопитающих. В этот список вошла крыса серая (*Rattus norvegicus* Berk.). Один экземпляр крысы был отмечен на территории строящегося кордона, куда, видимо, она была завезена в тюках со строительной паклей.

Материал получен автором в период полевых работ с 2004 по 2010 год. Помимо того, в анализе среднемноголетней численности использовались данные С. А. Позднякова за период с 1999 по 2003 год. Отлов мелких млекопитающих проводился по общепринятым методикам полевых исследований [4], [5]. Методом ловушко-линий проводились учеты на 2 площадках в 2006 и 2010 годах; с целью охвата дополнительных биотопов в учеты была добавлена площадка, расположенная в районе реки Каменной. Зверьков отлавливали во всех биотопах, характерных для северо-таежной подзоны Карелии: сосняк черничный, сосняк брусничный, ельник черничный, ельник приручейный, болото осоково-сфагновое. Кроме основных типов местообитаний отловы зверьков проводились в сосняке багульниковом, на гари 1973 года, на лугу злаково-разнотравном и в мелколиственном лесу с доминированием на одной площадке ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench) и на двух – березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.).

Зверьки отлавливались три раза в год с мая по октябрь. Численность определялась в экземплярах на 100 ловушко-суток. На протяжении всего периода работы было отработано 26 134 ловушко-суток и отловлено 2713 зверьков, принадлежащих к 11 видам.

По степени доминирования в суммарных уловах виды мелких млекопитающих расположились следующим образом: рыжая полевка (*Clethrionomys glareolus* Schreb.), обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* L.), темная полевка (*Microtus agrestis* L.), средняя бурозубка (*Sorex caecutiens* Laxm.), лесной лемминг (*Myopus schisticolor* Lill.), малая бурозубка (*Sorex minutus* L.), красно-серая полевка (*Clethrionomys rufocanus* Sund.), равнозубая бурозубка (*Sorex isodon* Turov.), водяная кутора (*Neomys fodiens* Penn.), крошечная бурозубка (*Sorex minutissimus* Zimm.) и полевка-экономка (*Microtus oeconomus* Pall.).

© Сиккиля Н. С., 2014

Фауна *Micromammalia* имеет типичный северотаежный облик, для которого характерна стабильная двухдоминантная система популяций [3], [7]. Характерной особенностью фауны *Micromammalia* является бедность видового состава. Ядро фауны составляют западно-палеарктические виды – *Clethrionomys glareolus*, *Sorex araneus* и *Microtus agrestis* [3]. В суммарных уловах в заповеднике на них приходится 92,2 %. Эти виды отличаются наиболее высокой и стабильной численностью и занимают доминирующее положение в большинстве природных комплексов. На *Sorex caecutiens*, *Myopus schisticolor* и *Sorex minutus* в общих уловах приходится 5,75 %, на остальные виды – около 2 %.

За период изучения мелких млекопитающих у лесных полевок пик численности наблюдался 3 раза – в 2000, 2004–2005 и 2009 годах, а минимумы – в 2002 и 2007 годах. Численность насекомоядных млекопитающих возрастала в 2002 и 2007–2008 годах, а падала в 2000, 2003 и 2009 годах.

ОТРЯД ГРЫЗУНЫ RODENTIA

Clethrionomys glareolus. Рыжая полевка – один из наиболее типичных и массовых видов как на территории Карелии, так и на территории заповедника. В местах стационарного проведения учетов вид отлавливается ежегодно. Доля рыжей полевки в уловах составляет 65,5 %. Как и средняя бурозубка, отличается эвритопностью, поэтому в сравнении с другими видами мелких млекопитающих рыжая полевка характеризуется более равномерным пространственным размещением на территории заповедника. Численность в заповеднике составила в среднем 6,8 экз. на 100 ловушко-суток. В годы депрессий средняя годовая численность снижалась от 1,1 до 2 экз. на 100 ловушко-суток (соответственно 2002, 2007 годы), а в годы пиков достигала 11,5–13,1 на 100 ловушко-суток (соответственно 2004, 2005 годы).

Microtus agrestis. На долю темной полевки в учетах приходится около 7 %. Вид приурочен к трансформированным стациям (бывшим сельскохозяйственным угодьям). В заповеднике темная полевка встречается на разнотравном лугу бывшей деревни Йэхримянваара, а также в ельнике приручейном с обилием поваленных деревьев и гнилыми пнями. Максимальный всплеск численности отмечен в период 1999–2000 годов, когда численность находилась на уровне 2,3–3 экз. на 100 ловушко-суток. С 2001 по 2010 год наблюдается продолжительный период низкой численности с колебаниями по годам от 0,1 до 0,9 экз. на 100 ловушко-суток.

Myopus schisticolor – малочисленный вид, в учетах присутствует не ежегодно. Средняя многолетняя численность – 0,19 экз. на 100 ловушко-суток. В отдельные годы численность лемминга увеличивалась до 0,62 экз. на 100 ловушко-суток. В период с 2006 по 2010 год в уловах лесной лемминг отсутствовал. В 2011 году в заповеднике был отловлен один зверек, несмотря на то что в деревне Вокнаволок, расположенной в 75 км на северо-запад от заповедника, отмечалось массовое появление этого вида. Предпочитает хвойные зеленомошные леса.

Clethrionomys rufocanus. Красно-серая полевка по степени доминирования среди полевок занимает четвертое место и в сборах составляет 1 %. В пределах заповедника за период исследования отловлено 23 экземпляра, из них 10 особей в 2005 году. Средняя многолетняя численность – 0,08 экз. на 100 ловушко-суток, при колебании численности по годам от 0,03 до 0,52 экз. на 100 ловушко-суток.

Microtus oeconomus. Полевка-экономка – стенотопный вид, предпочитающий увлажненные участки. Вид известен по 5 экземплярам, отловленным на осоко-сфагновом болоте в 1999 и 2000 годах. Среднемноголетний показатель численности – 0,013 экз. на 100 ловушко-суток.

Clethrionomys rutilus – западная граница распространения вида проходит по территории Карелии, Северной Финляндии и Норвегии [8], чем, вероятно, и обусловлена низкая численность населения вида. Красная полевка известна по 7 экземплярам в сборах экспедиции МГУ [6], которые были добыты в северной части заповедника в 1988 году. В более поздних учетах вид не отмечался.

ОТРЯД НАСЕКОМОЯДНЫЕ INSECTIVORA

Sorex araneus. Обыкновенная бурозубка наряду с рыжей полевкой доминирует в уловах в большинстве биотопов. В уловах насекомоядных на долю обыкновенной бурозубки приходится 79,4 %, в общих уловах насекомоядных и грызунов – 19,4 %. Среднемноголетняя численность – 2 экз. на 100 ловушко-суток с колебаниями по годам от 0,2 до 6 экз. на 100 ловушко-суток. Максимальная численность отмечалась в годы депрессии рыжей полевки – в 2002 и 2008 годах, минимальная – в годы пика численности рыжей полевки – в 2000, 2003 и 2009 годах. В годы депрессий среднегодовая численность снижалась от 0,2 до 0,75 экз. на 100 ловушко-суток (соответственно в 2009, 2000 годах), а в годы пиков достигала 3,8–6 экз. на 100 ловушко-суток (соответственно в 2002, 2008 годах).

Sorex caecutiens. Средняя бурозубка – широко распространенный вид. Как и обыкновенная бурозубка, отлавливается во всех биотопах. По степени доминирования в уловах насекомоядных средняя бурозубка занимает второе место. Средняя многолетняя численность – 0,2 экз. на 100 ловушко-суток, при колебании по годам от 0,12 до 0,84 экз. на 100 ловушко-суток.

Sorex minutus. Малая бурозубка встречается повсеместно, но в учетах давилками их доля

мала. Ежегодно в учеты попадается от 1 до 5 особей. Средняя многолетняя численность – 0,17 экз. на 100 ловушко-суток. Максимальная численность отмечалась в 2008 году и составила 0,8 экз. на 100 ловушко-суток.

Sorex isodon. Численность равнозубой бурозубки на территории заповедника низкая. За период исследования ловушками было отловлено 22 особи. Средняя многолетняя численность – 0,06 экз. на 100 ловушко-суток.

Neomys fodiens. Стенобионтный вид, тяготеющий к околоводным местообитаниям. Находки куторы приурочены к берегам ручьев, озер, которые поросли кустарником ольхи и ивы. Вид не ежегодно отлавливается на территории заповедника. Средняя многолетняя численность куторы – 0,04 экз. на 100 ловушко-суток.

Sorex minutissimus. Вид считается крайне редким для исследуемой территории. По результатам многолетних исследований ловушками численность крошечной бурозубки – 0,02 экз. на 100 ловушко-суток. В наших учетах вид известен по 4 экземплярам.

Таким образом, на территории заповедника отмечено 13 видов мелких млекопитающих. Половина из числа встречающихся в заповеднике видов приходится на долю таежного или сибирского фаунистического комплекса (равнозубая, средняя и крошечная бурозубки, красно-серая и красная полевки, лесной лемминг). В то же время численно доминируют представители фауны европейских широколиственных лесов – *Clethrionomys glareolus*, *Sorex araneus* и *Microtus agrestis*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов П. И., Зимин В. Б., Ивантер Т. В., Лапшин Н. В., Марковский В. А., Аненков В. Г. Фаунистический обзор наземных позвоночных // Биологические ресурсы района Костомукши, пути освоения и охраны. Петрозаводск, 1977. С. 23–32.
2. Ивантер Т. В., Колода Н. И., Минский С. П. О фауне и экологии мелких млекопитающих района Костомукши // Научная конференция биологов Карелии, посвященная 250-летию АН СССР: Тезисы докладов. Петрозаводск, 1974. С. 25–27.
3. Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-запада СССР. Л.: Наука, 1975. 244 с.
4. Кучерук В. В., Коренберг Э. М. Количественный учет важнейших теплокровных носителей болезней // Методы изучения природных очагов болезней человека. М., 1964. С. 129–153.
5. Новиков Г. А. Полевые исследования по экологии наземных позвоночных. М.: Советская наука, 1953. 502 с.
6. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: Составление серии крупномасштабных биогеографических карт на территорию заповедника «Костомукшский». Географический ф-т МГУ, 1992. 388 с. (Рукопись в архиве заповедника).
7. Поздняков С. А. Фауна и экология мелких млекопитающих Северной Карелии: Автореф. … канд. биол. наук. Петрозаводск, 1997. 16 с.
8. Сиивонен Л. Млекопитающие Северной Европы. М.: Лесная промышленность, 1979. 232 с.

Sikkilya N. S., State Nature Reserve “Kostomukshskiy” (Kostomuksha, Russian Federation)

FAUNAL ANALYSIS OF SMALL MAMMALS INHABITING NATURE RESERVE “KOSTOMUKSHSKIY”

Results of the study concerning fauna and numerical strength of small mammals inhabiting nature reserve “Kostomukshskiy” are provided. According to the results of the research, which lasted several years, 13 species of small mammals were registered.

Key words: small mammals, species composition, dominance, size of population

REFERENCES

1. Danilov P. I., Zimin V. B., Ivanter T. V., Lapshin N. V., Markovskiy V. A., Anenkov V. G. Faunistic review of terrestrial vertebrates [Faunisticheskiy obzor nazemnykh pozvonochnykh]. *Biologicheskie resursy rayona Kostomukshi, puti osvoeniya i okhrany* [Biological resources of Kostomuksha region, ways of development and protection]. Petrozavodsk, 1977. P. 23–32.
2. Ivanter T. V., Koloda N. I., Minskiy S. P. On the fauna and ecology of small mammals in the regions of Kostomuksha [O faune i ekologii melkikh mlekopitayushchikh rayona Kostomukshi]. *Nauchnaya konferentsiya biologov Karelii, posvyashchennaya 250-letiyu AN SSSR: Tezisy dokladov* [Abstracts of scientific conference for biologists from Karelia, devoted to the 250th anniversary of the USSR Academy of Sciences]. Petrozavodsk, 1974. P. 25–27.
3. Ivanter E. V. *Populyatsionnaya ekologiya melkikh mlekopitayushchikh taezhnogo Severo-zapada SSSR* [Population ecology of small mammals in the North-Western taiga of the USSR]. Leningrad, Nauka Publ., 1975. 244 p.
4. Kucheruk V. V., Korenberg E. M. Quantitative account of the most important warm-blooded carriers of diseases [Kolichestvennyy uchet vazhneyshikh teplokrovnykh nositeley bolezney]. *Metody izucheniya prirodnykh ochagov bolezney cheloveka* [Methods of studying natural foci of human diseases]. Moscow, 1964. P. 129–153.
5. Novikov G. A. *Polevye issledovaniya po ekologii nazemnykh pozvonochnykh* [Field research on the ecology of terrestrial vertebrates]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1953. 502 p.
6. *Otchet o nauchno-issledovatel’skoy rabote po teme: Sostavlenie serii krupnomasshtabnykh biogeograficheskikh kart na territoriyu zapovednika “Kostomukshskiy”* [Report of the research work on «Drawing a series of large-scale biogeographical maps on the nature reserve “Kostomukshskiy”. Manuscripts in the archives of the reserve]. Geographic faculty MSU, 1992. 388 p.
7. Pozdnyakov S. A. *Fauna i ekologiya melkikh mlekopitayushchikh Severnoy Karelii. Avtoref. … kand. biol. nauk* [Fauna and ecology of small mammals in North Karelia. PhD. biol. sci. diss]. Petrozavodsk, 1997. 16 p.
8. Siivonen L. *Mlekopitayushchie Severnoy Evropy* [Mammals of the Northern Europe]. Moscow, Lesnaya promyshlennost’ Publ., 1979. 232 p.

Поступила в редакцию 21.01.2014

Март, № 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 616.133.3-089:616.831-005.1

ИВАН ПЕТРОВИЧ ДУДАНОВ
доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАМН, заведующий кафедрой общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ipdudanov@gmail.com

СТАНИСЛАВ ВИТАЛЬЕВИЧ ОРДЫНЕЦ
аспирант кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация), ординатор отделения сердечно-сосудистой хирургии, Городская Мариинская больница (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
ordynets.spb@mail.ru

МИХАИЛ МИХАЙЛОВИЧ БЕРГЕР
ординатор отделения сердечно-сосудистой хирургии, Городская Мариинская больница (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
misha-berger@yandex.ru

АЙШАТ ЗУБАЙРАЕВНА АЗИЕВА
аспирант кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ayshat2313@rambler.ru

ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ КОБЛОВ
аспирант кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
febris@me.com

ВЯЧЕСЛАВ ВИКТОРОВИЧ ЗЕЛЕНИН
кандидат медицинских наук, заведующий отделением рентгенхирургических методов диагностики и лечения, региональный сосудистый центр, Городская Мариинская больница (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
zvv-05@mail.ru

ДМИТРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ МЕРКУЛОВ
заведующий отделением компьютерной томографии, региональный сосудистый центр, Городская Мариинская больница (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
dr_merkulov@mail.ru

НИКИТА ЮРЬЕВИЧ ТЕРЕМОВСКИЙ
аспирант кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ni-2@mail.ru

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПРИ СОЧЕТАНИИ СТЕНОЗА И ИЗВИТОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СОННОЙ АРТЕРИИ В ОСТРОМ ПЕРИОДЕ ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА*

Проанализированы результаты хирургического лечения стенозов ветвей дуги аорты при сочетании с извитостью, выполненного в остром периоде острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК). За период 2011–2012 годов у 112 (39,9 %) из 281 оперированного больного по поводу острого ишемического инсульта выявлены сочетанные стенозы с извитостью. Анализируются 3 группы больных: I группа – пациенты, переносящие инсульт или транзиторную ишемическую атаку и оперированные в течение 2 недель от начала ОНМК, 47 (42 %) пациентов, из них 31 (66 %) мужчина, 16 (34 %) женщин; II группа – перенесшие ишемический инсульт (ИИ) или транзиторную ишемическую атаку (ТИА) и оперированные в сроки от 2 до 4 недель от начала ОНМК, 10 пациентов (8,9 %), из них 8 мужчин (80 %) и 2 (20 %) женщины; III группа – перенесшие ИИ и оперированные позднее месяца от начала ОНМК, 55 пациентов (49,1 %), из них 34 (61,8 %) мужчины и 21 (38,2 %) женщина. В первой группе полное восстановление неврологических расстройств было достигнуто у 16 (34,0 %) пациентов, частичное – у 30 (63,9 %), отсутствие динамики неврологического статуса – у одного (2,1 %) пациента. Повторных ишемических инсультов в течение всего периода госпитализации не

© Дуданов И. П., Ордынец С. В., Бергер М. М., Азиева А. З., Коблов Е. С., Зеленин В. В., Меркулов Д. В., Теремовский Н. Ю., 2014

наблюдали. Во второй группе полное восстановление наблюдали у 3 (30 %) пациентов, частичное – у 5 (50 %), незначительная неврологическая динамика или ее отсутствие имели место у одного (10 %). Повторный ИИ был у одного (10 %) пациента. В третьей группе полное неврологическое восстановление наблюдали у 15 (27,1 %) пациентов, частичное – у 27 (49,1 %), незначительная динамика имелась у 11 (20,0 %). Повторные неврологические расстройства – ТИА у одного больного, ИИ также у одного больного. Аргументом в пользу ранних операций на сонных артериях с сочетанной извитостью является снижение риска раннего повторного «ангиогенного» инсульта.

Ключевые слова: ишемический инсульт, сонные артерии, стеноз, сочетанные поражения, хирургия

ВВЕДЕНИЕ

У пациентов с ишемическим инсультом риск его рецидива в течение первых 30 дней составляет от 5 до 20 % (факторы риска – выраженный стеноз, нестабильная бляшка, флотирующий тромб, патологическая извитость и др.) [1], [5], [7]. Повышенную опасность развития как первичного, так и повторного острого нарушения мозгового кровообращения ишемического генеза вызывает сочетание атеросклеротического стенозирующего поражения сонных артерий (СА) с патологической деформацией (ПД) – извитостью, углообразованием, петлеобразованием, которые встречаются примерно в 40–60 % случаев [3], [4], [5], [6]. Результаты проведенных исследований показали, что ПД внутренней сонной артерии (ВСА) имеют четкую тенденцию к прогрессированию гемодинамических нарушений и нарастанию выраженности симптомов сосудистой мозговой недостаточности (СМН). При развитии повторного инсульта нетрудоспособными остаются 40–69 % пациентов, 16–55 % погибают и только у 2–12 % пациентов происходит восстановление большинства утраченных функций и сохраняется трудоспособность. Все это обусловливает чрезвычайную актуальность профилактики повторного инсульта именно в раннем периоде ОНМК [2], [8], [9]. Активная хирургическая тактика в остром периоде ИИ позволяет устранить факторы риска повторного ОНМК, а также значительно усугубляющий возникший при первом нарушении неврологический дефицит.

Цель исследования – анализ результатов хирургического лечения стенозирующих поражений ветвей дуги аорты при сочетании их с извитостью, выполненного в остром периоде ишемического инсульта.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

За период 2011–2012 годов в нашем исследовании у 112 (39,9 %) из 281 оперированного по поводу острого ИИ были выявлены сочетанные атеросклеротические стенозы с ПД. Появление неинвазивных методов, сочетающих в себе преимущества визуализации и количественной оценки кровотока, позволило расширить представление об этой патологии.

Эффективность хирургической коррекции нарушенного кровотока при сочетании деформации с атеросклеротическим поражением ВСА в профилактике ОНМК доказана многочисленными исследованиями [3], [6]. В Российской Федерации в последние годы наблюдается неуклонный рост числа таких вмешательств. Однако в целом хирургические методы до настоящего времени не заняли должного места в комплексе лечебных мероприятий, применяемых больным с ИИ в остром периоде. Возможное объяснение заключается в том, что в настоящее время в российских рекомендациях не существует единого подхода к выполнению каротидной эндартерэктомии (КЭАЭ) в зависимости от времени, прошедшего с момента возникшего ИИ. До настоящего времени остается дискутабельным вопрос о влиянии ранних реконструктивных операций при атеросклеротических поражениях сосудов на пластичность головного мозга – способность к компенсации структурных и функциональных расстройств и, таким образом, эффективность комплексной реабилитации.

Учитывая современную тенденцию к проведению мероприятий по реперфузии как можно в более раннем периоде после ИИ, важным остается вопрос о влиянии срока, прошедшего от начала заболевания до проведения КЭАЭ, на процессы восстановления нарушенных функций. Традиционно решение о переносе сроков операции КЭАЭ у пациентов с установившимися инсультами как минимум на 6 недель основывалось на данных 1970-х годов, когда операции в ранние сроки сопровождались высокой частотой кровоизлияний в зону ишемии. Рекомендации об отдалении сроков операции КЭАЭ на 6–8 недель при инсульте большей частью основывались на результатах хирургического лечения больных с разной степенью выраженности резидуальных неврологических нарушений. Однако ретроспективный анализ показал, что при выжидании 6 недель и более приблизительно у 20 % пациентов с ОНМК возникает повторный инсульт. При сочетанной патологии сосуда риск повторного ИИ возрастает многократно. Несмотря на современный уровень каротидной хирургии, риск трансформации из ишемического очага в геморрагический инфарктный очаг остается главным аргументом задержки операции. С другой стороны, риск рецидивного инсульта в бассейне той же самой СА в течение периода ожидания хирургической операции, по общим сведениям, достигает 10 % в течение недели и 35 % – к концу месяца [2], [9].

В последнее время возрастает интерес к факторам риска развития инсульта, которые в ранее проведенных исследованиях не рассматривались. В частности, к ним относятся морфологический характер и другие признаки атеросклеротической бляшки, а также виды патологических деформаций ВСА. Состояние атеросклеротической бляшки в сочетании с патологической деформацией СА может существенно влиять на частоту развития ОНМК. Эхонегативные и гетерогенные бляшки имеют повышенное содержание липидов или внутренние кровоизлияния, которые могут приводить к изъязвлению бляшки, что создает повышенную угрозу эмболии, а в сочетании с извитостью ВСА, особенно при перегибе или петлеобразовании, влияет на частоту ОНМК. В настоящее время определение показаний к хирургии патологии сонных артерий при ишемии головного мозга на основании комплексного исследования их состояния, а также развитие компенсаторного кровотока, прогностическая оценка последствий реконструкции кровотока в ходе оперативного вмешательства составляют перспективы лечения острого ИИ при сочетанном поражении магистральных сосудов.

Процессы нейропластичности, обеспечивающие восстановление функций головного мозга у пациентов, перенесших инсульт, наиболее активны в первые дни после мозговой катастрофы. Чем больше времени проходит с момента ИИ, тем ниже потенциал восстановления. Именно это положение делает актуальным развитие системы ранней комплексной реабилитации пациентов с включением хирургического метода, применение которой демонстрирует высокую эффективность. Накопленный опыт позволил сформулировать ряд выводов и рекомендаций, полезных в практической деятельности неврологов и сосудистых хирургов.

В исследовании анализировались неврологические исходы у 112 пациентов с сочетанной патологией СА, переносящих ИИ. Нами были определены 3 группы: I группа – пациенты, переносящие ИИ или транзиторную ишемическую атаку и оперированные в течение 2 недель от начала ОНМК – 47 (42 %) человек, из них 31 (66 %) мужчина, 16 (34 %) женщин; II группа – пациенты, перенесшие ИИ или ТИА и оперированные в сроки от 2 до 4 недель от начала ОНМК – 10 (8,9 %) человек, из них 8 (80 %) мужчин и 2 (20 %) женщины; III группа – пациенты, перенесшие ИИ и оперированные в сроки позднее месяца от начала ОНМК, – 55 (49,1 %) пациентов, из них 34 (61,8 %) мужчины и 21 (38,2 %) женщина.

Нами были выполнены следующие виды реконструкции ВСА:

- резекция ВСА у устья с ее редрессацией и реимплантацией в собственное устье – 62 (55,4 %) пациента (рис. 1а);

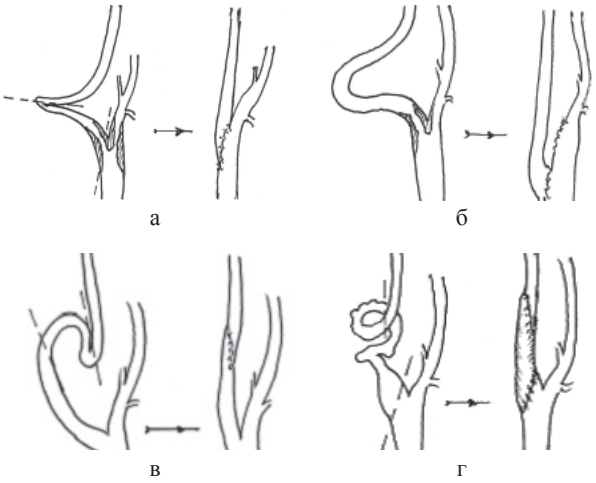


Рис. 1. Схема реконструктивных вмешательств при сочетанном стенозе и извитости сонной артерии: а – резекции ВСА у устья с ее редрессацией и реимплантацией в собственное устье; б – резекции ВСА у устья с ее редрессацией и реимплантацией проксимальнее собственного устья; в – резекции зоны извитости ВСА с анастомозом конец в конец; г – протезирования ВСА при иссечении измененного сегмента

- резекция ВСА у устья с ее редрессацией и реимплантацией проксимальнее собственного устья – 36 (32,1 %) пациентов (рис. 1б);
- резекция зоны извитости ВСА с анастомозом конец в конец выполнена 13 (11,6 %) пациентам (рис. 1в);
- протезирование ВСА (одна операция – 0,9 %) (рис. 1г).

Значимых различий между группами не было выявлено.

Методом выбора во всех наблюдениях была операция резекции ВСА с ее редрессацией и реимплантацией различными методами по определенным показаниям. Противопоказаниями к этой операции явились пролиферация интимы в зоне максимального изгиба – «септальная извитость» и выраженные дегенеративные изменения в зоне этой извитости, мешающие адекватно расправить сосуд при попытке редрессации, или микроаневризматические изменения стенки артерии (рис. 1г). При наличии извитости с септальным стенозом выполнялась резекция зоны извитости с анастомозом конец в конец.

В качестве примера приводим одно из наших наблюдений.

Пациентка Г., 59 лет, по профессии педагог. Поступила 26.06.2013 в СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», в блок интенсивной терапии и реанимации (БИТР) неврологического отделения с жалобами на сильную головную боль без четкой локализации, давящего характера, общую слабость, слабость в левых конечностях.

Анамнез заболевания. Заболела остро, на фоне полного благополучия, когда утром на ра-

боте появились и стали нарастать вышеуказанные жалобы. Вызвана бригада скорой медицинской помощи, экстренно госпитализирована в стационар с диагнозом «острое нарушение мозгового кровообращения». До настоящего времени считала себя здоровой, наличие хронических заболеваний отрицает. Не курит.

Объективно. Общее состояние средней степени тяжести. Кожные покровы и видимые слизистые физиологической окраски и влажности. Тоны сердца приглушены, ритмичные. АД – 140/80 мм рт. ст. Ps – 78 ударов в мин., удовлетворительных свойств. Дыхание жесткое, выслушивается над всей поверхностью легких, хрипов нет. Живот мягкий, безболезненный во всех областях, доступен глубокой пальпации. Печень не увеличена. Селезенка не пальпируется. Поколачивание по поясничной области безболезненно с обеих сторон. Физиологические отправления, со слов пациента, в норме.

Неврологический статус. Сознание ясное, ориентирована, адекватна. Зрачки D = S. Фотореакция положительная. Движение глазных яблок ограничено в крайних отведениях. Аккомодация с конвергенцией ослаблены. Нистагм горизонтальный в крайнем правом отведении. Лицо асимметричное за счет сглаженности левой носогубной складки. Девиация языка влево. Глоточный рефлекс сохранен. Мышечная сила снижена в левых конечностях до плегии в левой руке, до 3 баллов в левой ноге. Рефлексы орального автоматизма с двух сторон. Тонус в левых конечностях повышен по пирамидному типу. Глубокие рефлексы S > D, живые. Патологические стопные знаки слева. Чувствительность нарушена в виде левосторонней гемигипестезии. КП не удается проверить из-за гемипареза. В позе Ромберга пошатывается. Менингеальных симптомов нет.

Оценка по шкалам: Глазго – 15, NIHSS – 10, Рэнкина – 4, MMSE – 20, Бартел – 20. Индекс мобильности по Ривермиду – 1.

Данные лабораторного и инструментального обследования.

Клинический анализ крови, общий анализ мочи: без патологических изменений.

Биохимический анализ крови: холестерин – 5,6 ммоль/л, коэффициент атерогенности – 5,34, триглицериды – 2,10 ммоль/л, ЛПВП – 0,77 ммоль/л, ЛПНП – 2,63 ммоль/л, ЛПОНП – 1,48 ммоль/л. Остальные биохимические показатели крови в пределах нормы. **Коагулограмма:** ПТИ – 89 %, фибриноген – 7,11 г/л, АЧТВ – 32,7 с. На ФЛГ ОГК в пределах возрастной нормы.

СКТ головного мозга от 26.06.2012. Заключение: КТ картина ОНМК по ишемическому типу в бассейне ЛСМА. ДЭ. Смешанная гидроцефалия по заместительному типу.

УЗДГ (брахиоцефальных артерий) от 26.06.2012: выявлено ускорение кровотока в зоне угловой деформации S-образной извитости левой ВСА до 56 % (ЛСК сист от 100 до 230 см/с), ускорение кровотока в зоне патологической извитости правой ВСА до 51 % (ЛСК сист от 103 до 210 см/с).

МСКТ-ангиография от 27.06.2012: петлеобразная извитость правой ВСА с мешотчатой аневризмой в верхушке первой петли, удлинение и извитость левой ВСА (рис. 2а, б).

Консультация кардиолога: гипертоническая болезнь 2-й ст., артериальная гипертензия 2-й ст., риск сердечно-сосудистых осложнений – 4.

Консультация офтальмолога: гипертоническая ангиопатия сетчатки.

Заключение ангиохирурга: с целью профилактики повторных ОНМК, учитывая неврологическую симптоматику и данные обследований, больной показано хирургическое лечение – реконструкция правой ВСА.

30.06.2012 пациентка переведена в отделение сердечно-сосудистой хирургии, выполнена операция – реконструкция правой ВСА (резекция патологически извитого сегмента правой ВСА с удалением аневризмы и анастомозом конец в конец – схема операции на рис. 2в). Проведена консервативная терапия: поляризующая смесь, раствор Рингера, винпоцетин, церетон, мексидол; п/к-клексан; per os: тромбоасс, глицин, престариум, тулип, омез; массаж, ЛФК. Послеоперационный период протекал гладко, без неврологических и послеоперационных осложнений.

Объективно отмечалась положительная динамика неврологического статуса в виде купирования головных болей, нарастания мышечной силы в левой ноге до 4 баллов. **04.07.2012** пациентка переведена в отделение восстановительного лечения на реабилитацию.

Осмотрена в динамике через 3, 6, 9, 12 месяцев после операции: жалоб не предъявляет, полное восстановление функции конечностей.

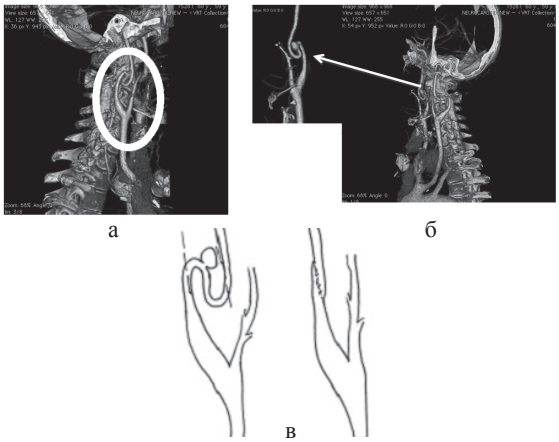


Рис. 2. Мультиспиральная компьютерная томография с контрастированием больной Г., 59 лет: а – ОСА, ее бифуркация и проксимальные сегменты наружной сонной артерии (НСА) и ВСА справа – выявлена выраженная патологическая деформация ВСА с аневризмой на петле; б – извитость левой ВСА без септального стеноза (на сноске – извитость правой ВСА с аневризмой на вершине петли); в – схема реконструкции правой ВСА той же больной – резекция патологически извитого сегмента правой ВСА с удалением аневризмы и наложением анастомоза конец в конец

Сравнительный анализ динамики восстановления нарушенных вследствие инсульта функций проводили с оценкой неврологического статуса по шкале инсульта Национального института здоровья (NIHSS), модифицированной шкале Рэнкина (МШР), индексу мобильности Ривермид в момент поступления, после хирургического лечения, а также при выписке пациента из стационара. Для оценки безопасности хирургического лечения учитывались периоперационные осложнения, прежде всего с позиции оценки риска геморрагической трансформации ИИ после восстановления кровотока путем ранней каротидной реконструкции, проведенной в разные сроки острого периода. Оценка результатов произведена при условии идентичности обследованных групп по таким параметрам, как пол, возраст, сопутствующие заболевания, характер извитости, степень стеноза, выраженность неврологического дефицита и т. д. Непосредственные результаты исследования представлены в таблице.

Сравнительный анализ результатов хирургического лечения, выполненного в разные сроки после ишемического инсульта

Результат лечения	Количество (%) больных в группах			
	I группа (n = 47)	II группа (n = 10)	III группа (n = 55)	Всего (112)
Результаты послеоперационные неврологические				
Полное восстановление	16 (34,0 %)	3 (30 %)	15 (27,1 %)	34 (30,4 %)
Частичное восстановление	30 (63,9 %)	5 (50 %)	27 (49,1 %)	62 (55,4 %)
Отсутствие динамики	1 (2,1 %)	1 (10 %)	11 (20,0 %)	12 (10,7 %)
Транзиторная ишемическая атака	0	0	1 (1,9 %)	1 (0,9 %)
Инсульт ишемический	0	1 (10 %)	1 (1,9 %)	2 (1,8 %)
Всего положительных	**97,9 %**	**80 %**	**76,2 %**	**85,7 %**
Другие послеоперационные осложнения				
Летальный исход	0	0	1 (1,9 %)	1 (0,9 %)

Данные свидетельствуют о том, что в первой группе полное восстановление неврологических расстройств было достигнуто у 16 пациентов (34,0 %), частичное – у 30 (63,9 %), отсутствие динамики неврологического статуса – у одного (2,1 %) пациента. Повторных ИИ в течение всего периода госпитализации не было ни у одного больного.

Во второй группе пациентов полное восстановление наблюдали у 3 (30 %) больных, частичное – у 5 (50 %) пациентов, незначительная неврологическая динамика или ее отсутствие имели место у одной (10 %) пациентки. Повторный ИИ был у одного (10 %) пациента.

В третьей группе полное неврологическое восстановление наблюдали у 15 (27,1 %) больных, частичное – у 27 (49,1 %) пациентов, незначительная динамика или ее отсутствие имели место у 11 (20,0 %) пациентов. Повторные центральные неврологические расстройства: ТИА у одного больного, ИИ также у одного больного, в этой же группе у одной пациентки в раннем послеоперационном периоде наблюдали прогрессирование сердечной недостаточности с развитием острого инфаркта миокарда и неблагоприятным исходом.

Таким образом, положительная динамика неврологических симптомов наблюдалась в первой группе у 46 (97,9 %) пациентов, во второй – у 8 (80 %) больных, в третьей группе – у 42 (76,2 %) больных, но со значительным увеличением срока задержки операции. Необходимо отметить, что полное восстановление имело место у пациентов первой и второй групп практически у каждого третьего больного. Результаты наблюдений представлены на рис. 3.

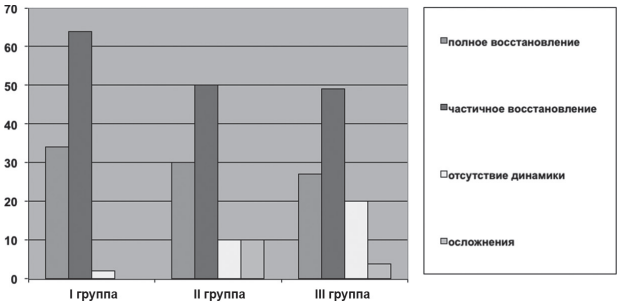


Рис. 3. Динамика неврологической симптоматики у больных трех групп наблюдения

Послеоперационные осложнения в виде повторного ИИ у перенесших реконструктивные операции в течение 4 недель (вторая группа) от начала заболевания наблюдали в одном случае. Повторный ИИ, подтвержденный при выполнении КТ-исследования головного мозга как послеоперационное осложнение, имел место у пациента на 7-е сутки после операции. У пациента наблюдалось нарастание очаговой неврологической симптоматики и речевых нарушений. Оценка тяжести ИИ по шкале NIH выросла на 4 балла и составила 8 баллов. После проведенного консервативного лечения оценка тяжести инсульта по шкале NIH снизилась и составила 5 баллов, пациент переведен на реабилитацию и долечивание в поликлинику.

В третьей группе послеоперационные осложнения в виде транзиторной ишемической атаки и повторного ишемического инсульта наблюдались у 2 (3,8 %) пациентов. Летальных исходов и других осложнений не наблюдалось. В одном случае осложнение возникло у пациента с выраженной стабильной гипертензией, ТИА возникла на 8-е сутки после операции. В другом случае

повторный ИИ, подтвержденный при выполнении КТ-исследования головного мозга как послеоперационное осложнение, имел место у пациента в первые сутки после операции. У пациента наблюдалось нарастание очаговой неврологической симптоматики и речевых нарушений. Оценка тяжести инсульта по шкале NIH выросла на 4 балла и составила 11 баллов. В обоих случаях проведенное ультразвуковое сканирование и МСКТ-ангиография сонных артерий не подтвердили подозрений о возникновении послеоперационного тромбоза ВСА; периоперационные центральные неврологические осложнения возникли на стороне реконструкции СА. Причиной осложнений, вероятнее всего, была артерио-артериальная микроэмболия, и в обоих случаях требовалась только консервативная терапия.

У всех пациентов оценивалась динамика неврологического дефицита, включая двигательные, чувствительные, речевые, зрительные и координаторные нарушения во время поступления и к моменту выписки из стационара. Результаты лечения пациентов оценивались по выраженности неврологического дефицита, показатели пациентов всех групп статистически не отличались ($p > 0,05$). Учитывая, что в клинике ИИ основное внимание уделяют очаговому неврологическому дефициту, у пациентов, перенесших КЭ, оценивали динамику двигательных, чувствительных, речевых, зрительных и координаторных нарушений во время поступления и к моменту выписки из стационара.

Пациенты всех групп оценивались по шкалам NIHHS, Ривермид и модифицированной шкале Рэнкина в момент поступления, после операции, через 24 часа, а также на 7-е сутки после вмешательства и к моменту выписки из стационара. Снижение среднего балла по шкале NIHSS после операции составило в первой группе от 5,8 ± 3,1 до 1,9 ± 1,8 балла к моменту выписки, во второй группе – от 5,6 ± 3,2 до 2,0 ± 2,2, в третьей группе – от 6,3 ± 3,2 до 3,1 ± 2,2 балла. По шкале Ривермид повышение индекса в первой группе пациентов к моменту выписки в среднем составило от 5,4 ± 3,5 до 13,0 ± 2,4 балла, во второй группе – от 5,9 ± 3,3 до 11,9 ± 3,3 балла, в третьей группе – от 4,8 ± 2,5 до 8,9 ± 2,1 балла. С учетом модифицированной шкалы Рэнкина средний балл в первой группе больных с 2,8 ± 1,0 уменьшился до 0,6 ± 0,7, во второй – с 2,5 ± 1,0 до 0,6 ± 0,8, в третьей группе – с 3,1 ± 1,0 до 1,0 ± 0,9 балла.

Динамика неврологической симптоматики у больных после проведения реконструктивных операций на СА в сроки до 4 недель после появления симптомов острого ИИ отражает значительный регресс неврологического дефицита. Причем обращает на себя внимание тот факт, что средние показатели динамики неврологического дефицита в большей мере улучшаются через 24 часа после оперативного лечения. Также следует отметить, что исходы у пациентов, оперированных в течение первых 2 недель после развития ИИ, практически идентичны тем же показателям у пациентов второй группы на фоне более короткого среднего срока госпитализации пациентов первой группы и без повышения риска периоперационных осложнений. Динамика улучшения снижается у пациентов третьей группы по сравнению с первой и второй группами. Доля неврологических осложнений в группах составила 2,7 %, летальность – 0,9 %.

Таким образом, учитывая собственные наблюдения, а также данные исследований последних лет, посвященных изучению безопасности КЭАЭ в ранние сроки от появления симптомов ОНМК, считаем вполне обоснованным применение реконструктивных операций у пациентов с симптомной патологией СА, переносящих острый ИИ, в сроки до 4 недель от начала заболевания. Подавляющее большинство пациентов первой и второй групп после хирургического лечения демонстрируют больший регресс неврологических расстройств и повышение уровня функциональных возможностей по сравнению с пациентами третьей группы.

В своей работе мы придерживались следующих положений.

У пациентов с симптомной патологией СА каротидная реконструкция может быть проведена со сравнительно низким риском и более высоким реабилитационным эффектом по восстановлению утраченных функций в течение 2 недель после развития ИИ, по сравнению с оперированными в более поздние сроки после начала ишемического события. Причем после реконструкции СА полностью и частично восстановившиеся пациенты в процентном соотношении незначительно преобладали среди больных, перенесших реконструктивную операцию в течение 2 недель после ИИ без повышения периоперационного риска на фоне сокращения срока госпитализации. Геморрагическая трансформация очага инфаркта головного мозга после проведения реконструкции СА у больных в нашем исследовании не наблюдалась.

При расчете времени для операции должна учитываться выраженность неврологической недостаточности и сопутствующей патологии. У пациентов с выраженным неврологическим дефицитом ранняя реконструкция СА у больных с ИИ повышает эффективность восстановления функций, нарушенных при инсульте вследствие улучшения церебральной перфузии и активизации процессов нейропластичности на ранних этапах острой церебральной ишемии ($p < 0,05$). Благоприятный эффект после реконструктивной операции на СА у пациентов с умеренным или тяжелым неврологическим дефицитом более выражен, чем при отсутствии неврологической симптоматики или при ее незначительной выраженности.

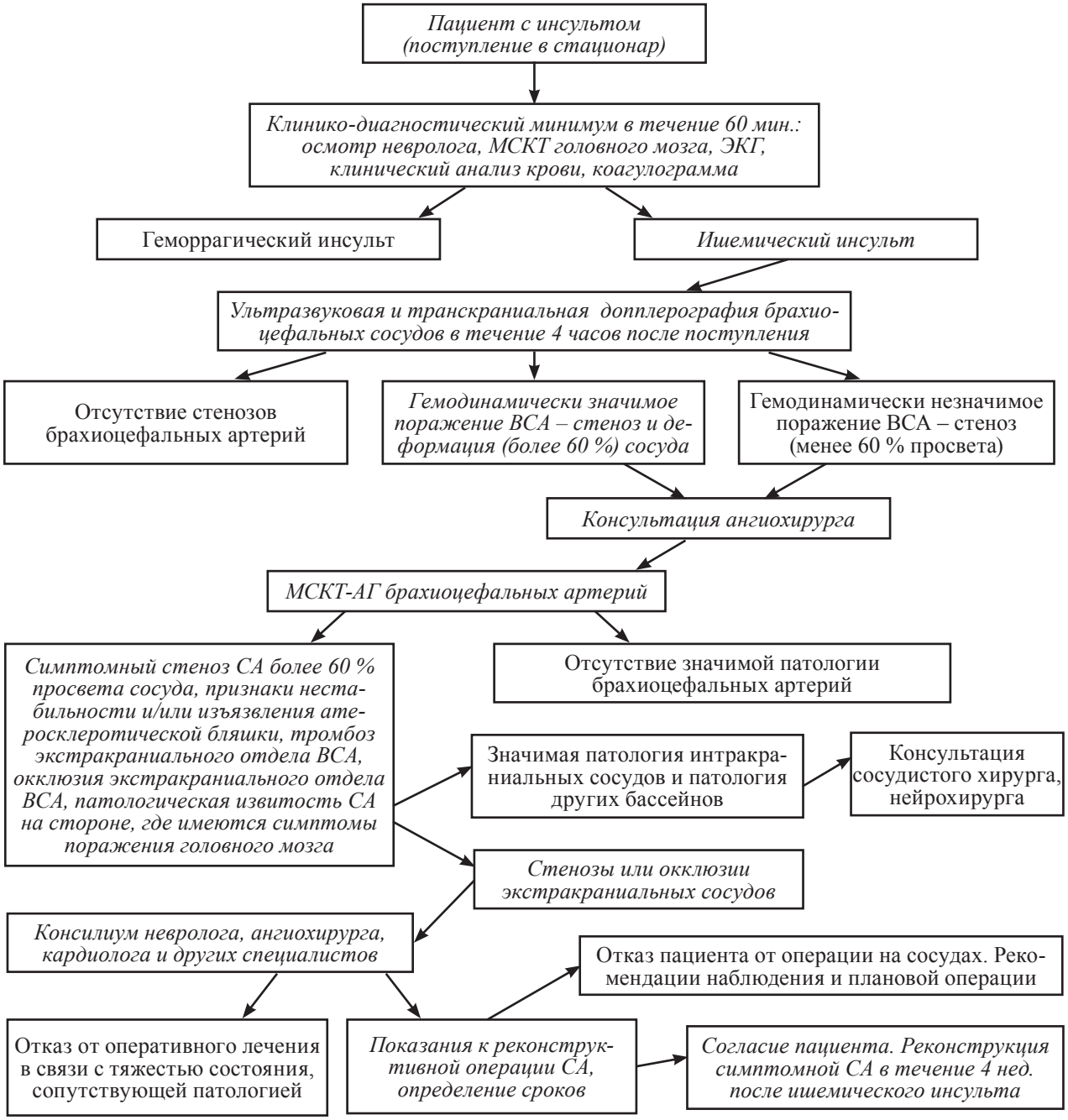


Рис. 4. Тактический алгоритм при сочетанных стенозах и извитости СА в остром периоде ишемического инсульта

С учетом международных рекомендаций в остром периоде ИИ не проводили реконструкции СА со значением шкалы NIHSS > 12 баллов. Тем не менее наши исследования не дают абсолютных оснований говорить о том, что каротидная реконструкция должна выполняться как можно раньше после ИИ всем больным. Учитывая, что в современной практике нет единой принятой тактики ведения пациентов с симптомным стенозом сонных артерий в сочетании с извитостью в остром периоде ИИ, разработка и внедрение систематизированного тактического алгоритма для лечения пациентов с инфарктом головного мозга являются весьма актуальной задачей (рис. 4).

Целесообразность хирургического лечения гемодинамически значимых поражений ВСА у пациентов в остром периоде ИИ достоверно доказана, но возможности поиска оптимальных подходов не исчерпаны. Установлено, что наиболее эффективными сроками проведения реконструктивных операций на сонных артериях являются первые 2 недели от момента развития мозговой катастрофы. Учитывая проведенный анализ частоты послеоперационных осложнений, нами установлено, что пациенты с соче-

танным стенозом и извитостью ВСА, оперированные без существенного промедления, имеют большую вероятность полного регресса неврологической симптоматики и, следовательно, снижения инвалидизации и восстановления исходной трудоспособности по сравнению с пациентами, оперированными через 4 недели и более после появления первых симптомов.

Итак, можно говорить об активизации процессов нейропластичности, обеспечивающих восстановление нарушенных функций у пациентов в остром периоде ИИ, при условии корригирования мозгового кровотока путем ранней реконструктивной операции на СА, в том числе при сочетании стеноза и патологической деформации ВСА. Данные, полученные в этом исследовании, подтверждают мнение о том, что хирургическое лечение поражений ВСА при сочетании стеноза и патологической деформации именно в ранние сроки является важной составной частью комплексной реабилитации больных с острым ИИ.

ВЫВОДЫ

1. Основным аргументом в пользу тактики ранних операций на сонных артериях является снижение риска раннего повторного «ангиогенного» инсульта, значительно усугубляющего неврологический дефицит. Неврологические исходы у пациентов, перенесших реконструктивную операцию на СА в течение первых 2 недель после развития ИИ, практически идентичны тем же показателям у пациентов, оперированных в период от 2 до 4 недель от начала заболевания, на фоне более короткого среднего срока госпитализации пациентов и приемлемого риска операционных осложнений.

2. Динамика неврологической симптоматики у пациентов, перенесших реконструктивные операции на СА в сроки до 4 недель после острого ИИ, отражает достоверно больший регресс неврологического дефицита по сравнению с оперированными после 4 недель.

3. При выборе метода реконструкции ВСА и патологической извитости считаем анатомически и гемодинамически более выгодной сегментарную резекцию с редрессацией ВСА и реимплантацией ее в устье, относя к преимуществам то, что она позволяет сохранить нормальную анатомию бифуркации и сформировать широкий (протяженный) анастомоз, а также при необходимости выполнить эверсионную КЭАЭ при сочетанном атеросклеротическом поражении СА.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулевская Т. С., Моргунов В. А. Патологическая анатомия нарушений мозгового кровообращения при атеросклерозе и артериальной гипертонии. М.: Медицина, 2009. 296 с.
2. Игнатьев И. М. Операции на сонных артериях в остром периоде ишемического инсульта // Ангиология и сосудистая хирургия. 2011. Т. 17. № 2. С. 113–118.
3. Казанчян П. О., Валиков Е. А. Патологическая деформация внутренних сонных и позвоночных артерий. М.: МЭИ, 2005. 136 с.
4. Лысиченкова О. В., Кравцов Ю. И. Соматосенсорные вызванные потенциалы в диагностике хронической недостаточности мозгового кровообращения у пациентов с патологией брахиоцефальных артерий // Ангиология и сосудистая хирургия. 2009. Т. 15. № 1. С. 24–28.
5. Покровский А. В., Белоярцев Д. Ф., Тимина И. Е., Адырхаев З. А. Когда нужно оперировать патологическую деформацию внутренней сонной артерии? // Ангиология и сосудистая хирургия. 2010. Т. 16. № 4. С. 116–122.
6. Покровский А. В., Кунцевич Г. И., Белоярцев Д. Ф. Протезирование сонных артерий при рестенозе после каротидной эндартерэктомии // Ангиология и сосудистая хирургия. 2007. Т. 13. № 4. С. 115–125.
7. Naylor A. R. Delay May Reduce Procedural Risk, But at What Price to the Patient? // Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg. 2008. Vol. 35. № 4. P. 383–391.
8. Rossouw J. E., Prentice R. L., Manson J. E., Wu L., Barad D., Ko M., LaCroix A. Z., Margolis K. L. Postmenopausal hormone therapy and risk of cardiovascular disease by age and years since menopause // JAMA. 2007. Vol. 297. P. 1465–1477.
9. Vikatmaa P., Sairanen T., Lindholm J.-M., Capraro L. et al. Structure of Delay in Carotid Surgery – An Observational Study // Journal of Vascular Surgery. 2011. Vol. 54. Is. 3. P. 913.

Dudanov I. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Ordynets S. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation), Mariinski City Hospital (St. Petersburg, Russian Federation)
Berger M. M., Mariinski City Hospital (St. Petersburg, Russian Federation)
Azieva A. Z., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Koblov E. S., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Zelenin V. V., Mariinski City Hospital (St. Petersburg, Russian Federation)
Merkulov D. V., Mariinski City Hospital (St. Petersburg, Russian Federation)
Teremovskiy N. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

RESULTS ON SURGICAL TREATMENT OF COMBINED INNER CAROTID ARTERY STENOSIS AND TORTUOUSNESS IN ACUTE PERIOD OF ISCHEMIC STROKE

Research results on surgical treatment of combined stenosis and tortuousness of aortic arch branches are analyzed. The surgical treatment was performed in the acute period of cerebral circulation disorder. A combination of stenosis and tortuousness was

revealed in 112 (39,9 %) out of 281 patients with acute ischemic stroke operated in 2011–2012. The patients with such combined lesions were divided into three groups. Group I included those suffering from IS or transitory ischemic attack (TIA) and operated within two weeks from the onset of acute ischemic stroke, and consisted of 47 patients (42 %), 31 of them male (66 %) and 16 female (34 %). Group II included those who had IS or TIA and were operated 2 to 4 weeks after the onset of acute ischemic stoke, and comprised 10 patients (8,9 %), 8 male (80 %) and 2 female (20 %). Group III included those who had IS and were operated more than a month after the onset of acute ischemic stroke, and consisted of 55 patients (49,1 %), 34 male (61,8 %) and 21 female (38,2 %). In group I, full recovery from neurological deficits was achieved in 16 patients (34 %), partial recovery in 30 patients (63,9 %), and in 1 person (2,1 %) no dynamics of neurological status was observed. Recurrent ischemic stroke did not occur in any of the patients during hospitalization period. In group II, full recovery was registered in 3 persons (30 %), partial recovery in 5 persons (50 %), and insignificant or no improvement in 1 person (10 %). One patient (10 %) suffered from recurrent IS. In group III, 15 patients (27,1 %) showed full and 27 patients (49,1 %) partial recovery, and insignificant dynamics was observed in 11 patients (20%). In two patients, recurrent central neurological deficit was observed, in one case IS and in the other one TIA. Lowering the risk of recurrent «angiogenic» stroke is a major advantage of early operations on carotid arteries in cases of combined stenosis and tortuousness.

Key words: ischemic stroke, carotid arteries, stenosis, tortuous arteries, combined lesions, surgery

REFERENCES

1. Gulevskaya T. S., Morgunov V. A. *Patologicheskaya anatomiya narusheniy mozgovogo krovoobrashcheniya pri ateroskleroze i arterial'noy gipertonii* [Pathological anatomy of cerebrovascular disorder with atherosclerosis and hypertension]. Moscow, Meditsina Publ., 2009. 296 p.
2. Ignat'yev I. M. Operations on carotid arteries in acute ischemic stroke [Operatsii na sonnykh arteriyakh v ostrom periode ishemicheskogo insul'ta]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya* [Angiology and Vascular Surgery]. 2011. Vol. 17. № 2. P. 113–118.
3. Kazanchyan P. O., Valikov E. A. *Patologicheskaya deformatsiya vnutrennikh sonnykh i pozvonochnykh arteriy* [Pathological deformation of internal carotid and vertebral arteries]. Moscow, MEI Publ., 2005. 136 p.
4. Lysichenkova O. V., Kravtsov Yu. I. Somatosensory evoked potentials in diagnosis of chronic cerebrovascular insufficiency in patients with pathology of brachiocephalic arteries [Somatosensornye vyzvannye potentsialy v diagnostike khronicheskoy nedostatochnosti mozgovogo krovoobrashcheniya u patsientov s patologiey brakhiotsefal'nykh arteriy]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya* [Angiology and Vascular Surgery]. 2009. Vol. 15. № 1. P. 24–28.
5. Pokrovskiy A. V., Beloyartsev D. F., Timina I. E., Adyrkhaev Z. A. When is it necessary to operate pathological deformation of internal carotid artery? [*Kogda nuzhno operirovat' patologicheskuyu deformatsiyu vnutrenney sonnoy arterii?*]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya* [Angiology and Vascular Surgery]. 2010. Vol. 16. № 4. P. 116–122.
6. Pokrovskiy A. V., Kuntsevich G. I., Beloyartsev D. F. Prosthetic carotid restenosis after carotid endarterectomy [*Protezirovanie sonnykh arteriy pri restenoze posle karotidnoy endarterektomii*]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya* [Angiology and Vascular Surgery]. 2007. Vol. 13. № 4. P. 115–125.
7. Naylor A. R. Delay May Reduce Procedural Risk, But at What Price to the Patient? // Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg. 2008. Vol. 35. № 4. P. 383–391.
8. Rossouw J. E., Prentice R. L., Manson J. E., Wu L., Barad D., Ko M., LaCroix A. Z., Margolis K. L. Postmenopausal hormone therapy and risk of cardiovascular disease by age and years since menopause // JAMA. 2007. Vol. 297. P. 1465–1477.
9. Vikatmaa P., Sairanen T., Lindholm J.-M., Capraro L. et al. Structure of Delay in Carotid Surgery – An Observational Study // Journal of Vascular Surgery. 2011. Vol. 54. Is. 3. P. 913.

Поступила в редакцию 08.07.2013

Март, № 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 615.276, 615.065

ДАРЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ЖУРАХОВСКАЯ
старший преподаватель кафедры фармакологии, организации и экономики фармации, микробиологии и гигиены медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
zhurakhovskaya@mail.ru

ЕКАТЕРИНА ЕФИМОВНА ЛОСКУТОВА
доктор фармацевтических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и экономики фармации медицинского факультета, Российский университет дружбы народов (Москва, Российская Федерация)
ekaterinaloskuttova@gmail.com

ИРИНА АНАТОЛЬЕВНА ВИНОГРАДОВА
доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой фармакологии, организации и экономики фармации, микробиологии и гигиены медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
irinav@petrsu.ru

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР И НАЗНАЧЕНИЕ ВРАЧАМИ НЕСТЕРОИДНЫХ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ*

Проведена оценка факторов выбора и назначения врачами нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП). Данные получены на основе анкетирования, всего в исследовании приняли участие 113 врачей различных специальностей г. Петрозаводска. Статистический анализ проведен с использованием таблиц сопряженности и расчета критерия χ^2. Выявлены наиболее часто назначаемые препараты данной группы, проведен анализ информированности врачей об основных фармакологических свойствах НПВП. Установлено, что выбор лекарственного препарата больше зависит от специальности врача и места его работы и в меньшей степени от стажа. Характерных закономерностей между назначением того или иного нестероидного противовоспалительного средства и знанием его фармакологических особенностей установлено не было, несмотря на выявленную удовлетворительную информированность врачей об эффективности и безопасности НПВП.

Ключевые слова: нестероидные противовоспалительные препараты, факторы выбора, рациональное применение, врачи, анкетирование

ВВЕДЕНИЕ

Нестероидные противовоспалительные препараты относятся к числу наиболее востребованных и часто применяемых практически во всех разделах медицины лекарственных средств. НПВП являются ингибиторами циклооксигеназы (ЦОГ) – фермента, отвечающего за синтез простагландинов, важнейших медиаторов боли и воспаления. Подавляя их синтез, НПВП оказывают болеутоляющее, противовоспалительное, жаропонижающее и антиагрегантное действие. Однако данные препараты действенны и безопасны лишь тогда, когда их применяют рационально, в ином случае их использование может привести к развитию серьезных, угрожающих жизни осложнений [2], [3]. Важное место в решении данной проблемы занимает врач, осуществляющий рациональный выбор и назначение НПВП с учетом их фармакологических особенностей.

Цель настоящего исследования – оценка факторов, влияющих на выбор и назначение НПВП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Было проведено анонимное анкетирование 113 врачей, проживающих в г. Петрозаводске. Для достижения поставленной цели были разработаны единая форма анкеты, которая включала 15 вопросов с предоставленными вариантами ответов по различным аспектам выбора и назначения НПВП, а также общие вопросы, касавшиеся стажа, специальности и места работы (поликлиника, стационар). Респонденты заполняли тест на знание основных фармакологических свойств НПВП.

Обработка полученных данных проводилась с использованием программы Microsoft Excel 2010. Статистическое изучение связи между качественными признаками осуществлялось на основе составления таблиц взаимной сопряженности и расчета критерия χ^2 Пирсона при уровне значимости $p < 0,05$ [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство врачей (59,3 %), принявших участие в анкетировании, имели стаж работы более 20 лет (рис. 1). Среди опрошенных преобладали врачи-терапевты (60,2 %) (рис. 2). В поликлиниках работали 56,6 % респондентов, в стационаре – 43,4 %.

В качестве наиболее часто назначаемых ими НПВП врачи указали препараты, содержащие

© Жураховская Д. В., Лоскутова Е. Е., Виноградова И. А., 2014

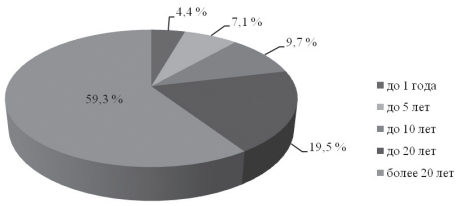


Рис. 1. Стаж работы врачей, принявших участие в исследовании

Рис. 2. Распределение врачей по отдельным специальностям

кеторолак (82,3 %), нимесулид (62,8 %), диклофенак (55,8 %), ибупрофен (39,8 %), мелоксикам (33,6 %), метамизол натрия (17,7 %) и ацеклофенак (16,8 %). Распределение препаратов по торговым наименованиям представлено на рис. 3.

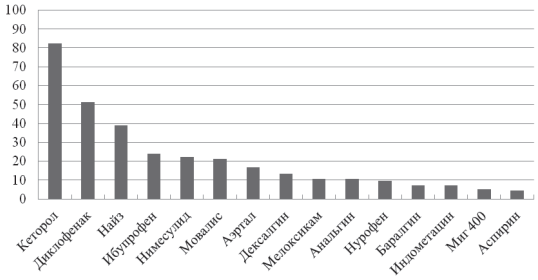


Рис. 3. Распределение наиболее часто назначаемых НПВП по торговым наименованиям

В результате исследования установлено, что большинство врачей при выборе лекарственного препарата руководствуются его эффективностью (89,4 %), безопасностью и минимумом побочных эффектов (84,1 %), длительностью действия и скоростью наступления эффекта (66,4 %), личным опытом (49,6 %), аннотацией к препарату и медицинской литературой (43,4 %), а также ценой (42,5 %). Данные факторы влияют на дальнейший выбор и назначение того или иного НПВП. Так, для врачей, назначающих нимесулид, важен фактор безопасности ($p < 0,05$), выбирающих диклофенак – фактор длительности действия и скорости наступления эффекта ($p < 0,04$), а также личный опыт применения ($p < 0,03$). Специалисты, которые руководствуются при назначении ценой препарата, достоверно реже назначают декскетопрофен, чем другие НПВП ($p < 0,02$).

Как показал анализ таблиц сопряженности и рассчитанные значения χ^2, факторы выбора препарата мало зависят от социоэкономических характеристик потребителя. Так, чтение аннотации к препарату и медицинской литературы при выборе лекарства достоверно более важно для терапевтов, чем для врачей других специальностей ($p < 0,02$), данная приверженность также снижается с увеличением стажа работы ($p < 0,01$). Безопасность препарата ($p < 0,03$), его цена ($p < 0,01$) и репутация фирмы-производителя ($p < 0,04$) чаще учитывают врачи поликлиник, чем стационаров. Назначение того или иного НПВП не зависит от стажа работы специалиста, но зависит от его места работы и специальности. Диклофенак и мелоксикам достоверно более часто назначают терапевты ($p < 0,01$) и врачи поликлиник ($p < 0,01$), а декскетопрофен – сотрудники стационара ($p < 0,01$), терапевты ($p < 0,03$), неврологи ($p < 0,01$) и кардиологи ($p < 0,01$).

Для рационального выбора и назначения НПВП необходимо хорошо знать их показания к применению, побочные эффекты, преимущества и недостатки различных препаратов, в том числе селективных ингибиторов ЦОГ-2. Оценка уровня знаний врачей показала, что в целом они имеют удовлетворительный уровень информированности об основных фармакологических свойствах НПВП.

Основные показания к применению данной группы препаратов (болевой синдром различной этиологии, ревматические и неревматические заболевания опорно-двигательного аппарата) знают подавляющее большинство врачей. О применении НПВП при неврологических заболеваниях и лихорадке – около половины, дисменорее – около трети опрошенных. Врачи хорошо осведомлены о побочных эффектах НПВП. Возможность развития гастроэнтерологических, гематотоксических, гепатотоксических и аллергических неблагоприятных реакций отметили более половины респондентов. О наличии у данных препаратов нефротоксичности, тератогенного действия, а также о возможном развитии бронхоспазма информированы около четверти опрошенных врачей. Опрос относительно НПВП, селективно блокирующих ЦОГ-2, показал, что около половины респондентов верно относят к данной группе препаратов нимесулид (61,1 %), мелоксикам (43,4 %) и целекоксиб (44,3 %). Прием селективных ингибиторов ЦОГ-2 снижает частоту развития гастроэнтерологических побочных реакций, о чем информированы более 70,0 % врачей. О том, что данные препараты не оказывают антиагрегантного эффекта, осведомлены 21,1 %, а о повышенном риске побочных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы – только 9,7 %. Неверно полагают, что селективные НПВП обладают менее выраженным гепато- и нефротоксическим действием и оказывают более выраженное противовоспалительное и обезболивающее действие, около трети респондентов.

Анализ взаимосвязи между выбором НПВП и знанием его фармакологических свойств показал, что назначение препарата не всегда обосновано знанием его преимуществ и недостатков. Установлено, что информированность о гепатотоксичности НПВП приводит к уменьшению

числа назначений метамизола натрия ($p < 0,03$), информированность о нефротоксичности – мелоксикама ($p < 0,02$) и декскетопрофена ($p < 0,02$), уменьшение числа назначений индометацина ($p < 0,01$) и декскетопрофена ($p < 0,01$) и увеличение числа назначений препаратов ибупрофена ($p < 0,03$) связаны с информированностью о возможности развития бронхоспазма. Осведомленность о наличии у НПВП гематотоксичности не влияет на выбор препарата.

Назначение селективных ингибиторов ЦОГ-2 также не связано со знанием их отличий от неселективных препаратов. Так, не выявлено взаимосвязи между выбором мелоксикама, нимесулида или целекоксиба и информированностью врача о том, что данные препараты являются селективными и обладают менее выраженными гастроэнтерологическими побочными реакциями. Однако назначение нимесулида достоверно связано с ошибочным мнением о наличии у селективных ингибиторов ЦОГ-2 более выраженного по сравнению с неселективными препаратами обезболивающего ($p < 0,02$) и противовоспалительного ($p < 0,03$) эффектов.

Различные НПВП отличаются по своим фармакодинамическим свойствам, что обуславливает необходимость их дифференцированного применения [3]. Наиболее выраженный противовоспалительный эффект врачи отметили у диклофенака (58,4 %), нимесулида (51,3 %), ибупрофена (48,7 %), индометацина (39,8 %) и мелоксикама (27,4 %), а наибольший обезболивающий эффект – у кеторолака (62,0 %), метамизола натрия (52,2 %), кетопрофена (45,1 %), нимесулида (32,7 %) и диклофенака (30,1 %), что в целом соответствует экспериментальным исследованиям и клиническим наблюдениям [3]. Однако наличие, по мнению респондента, у препарата более выраженного противовоспалительного или обезболивающего эффекта не влияет на его выбор и назначение.

ВЫВОДЫ

Выбор и назначение лекарственного средства, в том числе из группы нестероидных противовоспалительных, является сложным процессом, на который влияют различные факторы, связанные как с фармакологическими особенностями препарата, так и с индивидуальными социоэкономическими характеристиками врача.

Проведенное исследование показало, что выбор НПВП больше зависит от специальности врача и места его работы и в меньшей степени от стажа. Характерных закономерностей между назначением того или иного НПВП и знанием его фармакологических особенностей установлено не было, несмотря на выявленную удовлетворительную информированность врачей об эффективности и безопасности НПВП.

Полученные данные позволяют сделать вывод о необходимости дальнейшего изучения факторов выбора НПВП, а также повышения уровня профессиональной подготовки врачей в области рационального применения препаратов данной группы.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития на 2012–2016 годы «Университетский комплекс ПетрГУ в научно-образовательном пространстве Европейского Севера: стратегия инновационного развития».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годоева З. А. Теория статистики. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 532 с.
2. Каратеев А. Е. Как правильно использовать нестероидные противовоспалительные препараты // Русский медицинский журнал. 2009. Т. 17. № 21. С. 1426–1433.
3. Клиническая фармакология нестероидных противовоспалительных средств / Под ред. Ю. Д. Игнатова, В. Г. Кукеса, В. И. Мазурова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 256 с.

Zhurakhovskaya D. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Loskutova E. E., Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russian Federation)
Vinogradova I. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation

EVALUATION OF FACTORS INFLUENCING ADMINISTRATION OF NON-STEROIDAL ANTI–INFLAMMATORY DRUGS

The aim of the study was to evaluate factors that influence physicians' non-steroidal anti-inflammatory drugs' choice. 113 physicians practicing in Petrozavodsk participated in the survey by filling out anonymous questionnaires. Statistical processing of the results was performed with the help of the chi-square contingency table analysis. It was found out that NSAIDs were administered by physicians rather frequently. It was also revealed that physicians were well aware of pharmacological properties of that group of medications. The statistical analysis showed that the choice of medication administered by the doctors was influenced not as much by the doctors' experience but by their subspecialty and place of work. In spite of solid awareness on the medications' properties no particular correlations between administration of certain non-steroidal anti-inflammatory drugs and awareness of their properties was revealed.

Key words: non-steroidal anti-inflammatory drugs, factors that influence drug choice, rational use of drugs, physicians, questionnaire

REFERENCES

1. Godoeva Z. A. *Teoriya statistiki* [Statistical Theory]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2007. 532 p.
2. Karateev A. Ye. How to Use Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs Correctly [Kak pravil'no ispol'zovat' nesteroidnye protivovospalitel'nye preparaty]. *Russkiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal]. 2009. Vol. 17. № 21. P. 1426–1433.
3. *Klinicheskaya farmakologiya nesteroidnykh protivovospalitel'nykh sredstv* [Clinical Pharmacology of Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs]. Moscow, GEOTAR-Media Publ., 2010. 256 p.

Поступила в редакцию 20.01.2014

Март, № 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 612.592+612.741.1

АЛЕКСАНДР ЮРЬЕВИЧ МЕЙГАЛ
доктор медицинских наук, главный научный сотрудник Института высоких биомедицинских технологий, профессор кафедры физиологии человека и животных медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
meigal@petrsu.ru

АНАСТАСИЯ МИХАЙЛОВНА ПОТЕМИНА
старший преподаватель кафедры физиологии человека и животных медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
medic13@inbox.ru

НЕЙРОМЫШЕЧНЫЙ СТАТУС ЧЕЛОВЕКА В ТЕЧЕНИЕ ГОДОВОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ЦИКЛА

Исследован нейромышечный статус группы здоровых испытуемых в течение года. Установлено, что в зимний сезон снижалась частота импульсации двигательных единиц. Для весеннего сезона было характерно «упрощение» временной структуры интерференционной электромиограммы. Вместе с тем не обнаружено строгого следования параметров нейромышечного статуса за годовым температурным циклом.

Ключевые слова: температура, холод, адаптация, сезон года, электромиограмма, двигательные единицы, нелинейные параметры

ВВЕДЕНИЕ

Температура – один из неустранимых, циклических факторов окружающей среды, который действует на человека в течение всей жизни. Помимо краткосрочных эффектов, температура оказывает и долгосрочное действие, позволяющее человеку акклиматизироваться к экстремальным условиям высоких широт, что может быть полезно в силу своей синергичности с действием гравитации при адаптации к невесомости [8]. Обычно человек получает холодовую нагрузку зимой, однако в современном мире можно испытать действие холода и летом – на горнолыжных курортах, при работе в морозильных камерах, а также при занятиях зимним плаванием (холодовая иммерсия). В последнее время получает популярность такой вид лечебно-косметических процедур, как криосауна.

Как длительное, так и острое охлаждение вызывает снижение частоты импульсации двигательных единиц (ДЕ) животных [6], [7] и человека при холодовой экспозиции или иммерсии [3], [4]. Биоритмы (сезон года, менструальный цикл) также влияют на нейромышечный статус женщины, причем наибольшее влияние оказывает сочетание весеннего сезона и фазы овуляции [2]. Согласно нашей рабочей гипотезе, параметры нейромышечного статуса человека следуют за среднемесячной температурой воздуха с небольшим отставанием. Поэтому нам представлялось интересным исследовать нейромышечный статус в группе здоровых испытуемых в течение сезонов года при помощи электромиографии (ЭМГ).

© Мейгал А. Ю., Потемина А. М., 2014

МАТЕРИАЛЫ

В течение 2008–2010 годов регистрировали ДЕ и интерференционную ЭМГ (иЭМГ) у здоровых испытуемых (n = 5) ежемесячно с 15 февраля 2008 года по 15 января 2010 года. Поверхностную иЭМГ регистрировали с двуглавой мышцей плеча (*m. biceps br.*) справа, в позе стоя, плечо было опущено вниз, предплечье удерживалось в положении локтевого сгибания. Запись иЭМГ делали при нагрузках 0 (без нагрузки), 1, 2 и 3 кг. Использовали электромиограф Нейро-МВП-8 (ООО «Нейрософт», г. Иваново, Россия). Отводящие электроды укрепляли лейкопластырем над основной массой мышцы на предварительно обработанной коже [2]. Полоса пропускания ЭМГ – 20–500 Гц, длительность записи – 1 с при значении импеданса не более 10 МОм.

Анализировали среднюю амплитуду (мкВ), среднюю частоту (MNF, Гц), фрактальную (***D***) и корреляционную ($\boldsymbol{D_c}$) размерность и корреляционную энтропию ($\boldsymbol{K_2}$) (программа FRACTAN 4.4 ©). Также рассчитывали средний межимпульсный интервал (МИИ, мс) и на его базе – среднюю частоту импульсации (*f*, имп/с) ДЕ трехглавой мышцы плеча (*m. triceps br.*) при слабом ее сокращении.

Статистический анализ

Статистический анализ проводился при помощи программы SPSS 14.0™. Корреляционный анализ – с помощью непараметрического критерия Пирсона, распределение выборок на нормальность проверяли по методу Шапиро – Уилка. Межгрупповое сравнение сред-

них значений производили с помощью непараметрических критериев Крускалл – Уоллиса и Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что наибольшие значения МИИ наблюдались в ноябре – январе (120–130 мс), затем отмечалось уменьшение МИИ до 105 мс в апреле, июле и октябре и до 115 мс в мае – июне, августе – сентябре и феврале (рис. 1). Таким образом, наблюдалось три месяца с минимальными (апрель, июль, октябрь) и три месяца с максимальными (ноябрь, декабрь, январь) значениями МИИ. Средние значения МИИ в течение года различались статистически значимо (p = 0,0083). Группирование данных по сезонам показало, что в зимний сезон (климатическая зима, которая в г. Петрозаводске включает 4,5 месяца – ноябрь, три календарных зимних месяца и половину марта) частота импульсации ДЕ составила ~8,2 имп/с, а для всех не зимних месяцев ~9,2 имп/с. Различие не было статистически значимым, хотя и было приближено к границе значимых различий (p = 0,083). Таким образом, магнитуда колебаний средней частоты импульсации ДЕ в течение года не превышала 1 имп/с (~15 мс для МИИ), что составляет всего ≈10–12 % от среднего значения (рис. 2). Параметры иЭМГ не изменялись в течение года (см. табл.). Однако при группировании данных по сезонам выявлено статистически значимое уменьшение D_c (p = 0,027) и K_2 (p = 0,025) в весенний сезон (рис. 3).

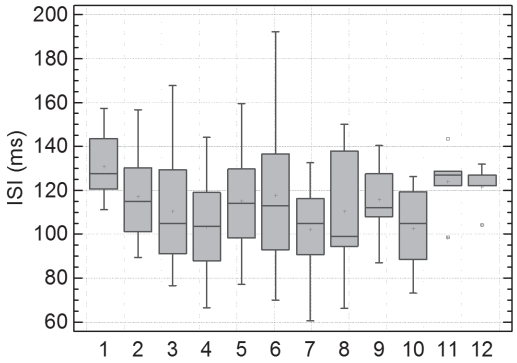


Рис. 1. Годовые колебания среднего межимпульсного интервала двигательных единиц человека во время двух лет наблюдения (2008–2010 годы). 1 – январь, 12 – декабрь. * – p < 0,05 по отношению к январю

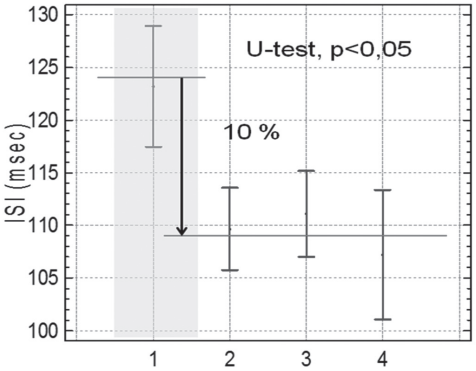


Рис. 2. Общий вид изменения среднего межимпульсного интервала (ISI) «не моржей» в течение года (2008–2010 годы). 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень

В соответствии с нашей рабочей гипотезой, частота импульсации ДЕ должна быть наименьшей в зимний (холодный) период, а затем должна увеличиваться весной и осенью (прохладный период), достигая наибольших значений летом (теплый период). Установлено, что в зимний (холодный) сезон действительно происходит небольшое (на ~10 %) снижение частоты импульсации ДЕ, однако для летнего сезона увеличение частоты импульсации ДЕ оказалось нехарактерно. Возможно, охлаждение зимой является более сильным стресс-фактором. Также двигательная система эволюционно задействована именно для защиты от холода, а не от перегревания. С точки зрения терморегуляции снижение частоты импульсации ДЕ выгодно [1].

Известно, что у мелких животных структурные следы холодовой адаптации не исчезают при 20 °С, однако при 30 °С и особенно при 35 °С следы адаптации к холоду быстро стираются [5]. Лето 2008 и 2009 годов в Республике

Электромиографические показатели в течение года по месяцам (2008–2010 годы) в контрольной группе

Месяц	MNF (Гц)	D	D_c	K_2
Январь	нет данных	1,749 ± 0,031	4,162 ± 0,292	5,569 ± 3,142
Февраль	131,42 ± 16,35	1,771 ± 0,033	4,438 ± 0,408	4,295 ± 0,850
Март	121,67 ± 13,54	1,748 ± 0,045	4,419 ± 0,291	4,394 ± 1,530
Апрель	118,15 ± 8,37	1,749 ± 0,035	4,157 ± 0,241*	3,991 ± 0,272
Май	133,5 ± 20,13	1,743 ± 0,028	4,247 ± 0,387	4,791 ± 2,304
Июнь	121,0 ± 5,77	1,765 ± 0,040	4,253 ± 0,224	3,976 ± 0,268
Июль	119,13 ± 7,18	1,759 ± 0,057	4,323 ± 0,363	5,902 ± 3,018
Август	122,44 ± 12,83	1,745 ± 0,050	4,285 ± 0,421	5,089 ± 2,383
Сентябрь	129,54 ± 22,57	1,779 ± 0,032*	4,343 ± 0,469	5,714 ± 2,854
Октябрь	117,52 ± 14,98	1,755 ± 0,058	4,260 ± 0,354	5,626 ± 2,556
Ноябрь	126,0 ± 8,21	1,761 ± 0,031	4,318 ± 0,345	4,297 ± 1,922
Декабрь	121,67 ± 14,53	1,739 ± 0,057	4,335 ± 0,300	5,018 ± 2,674
Все месяцы	123,33 ± 15,26	1,756 ± 0,046	4,335 ± 0,078	4,882 ± 2,238
P	0,150	0,157	0,07	0,07

Примечание. В строке «январь – MNF» среднее отсутствует, так как было недостаточно данных (1 испытуемый).

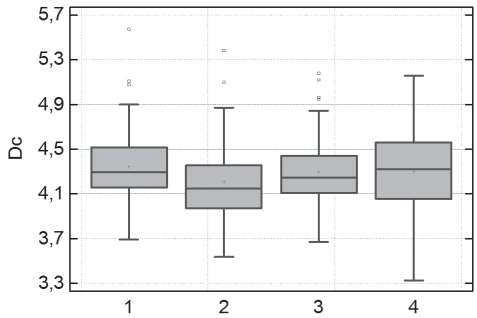


Рис. 3. Корреляционная размерность иЭМГ человека в течение четырех сезонов года. P = 0,025, критерий Крускалл – Уоллиса, 1 – зима, 2 – весна, 3 – лето, 4 – осень

Карелия было прохладным (в среднем 17 °С в самый жаркий месяц), и, вероятно, следы адаптации к теплу просто не сформировались. Было бы интересно исследовать нейромышечный статус человека при более сильном и длительном согревании (температура воздуха > 30 °С).

Частота импульсации ДЕ у мелких лабораторных животных при адаптации к холоду снижается на 4–5 имп/с [6]. У «зимних» же голубей частота импульсации ДЕ на 1–2 имп/с меньше, чем у «летних» [7]. Таким образом, искусственная акклимация к холоду вызывала у животных изменение частоты импульсации ДЕ на 30 %, а природная адаптация к зимним условиям – всего на 10 %. В нашем исследовании разность частот импульсации ДЕ между зимним сезоном и другими сезонами составила 10 %, что, видимо, отражает именно природный характер адаптации. На широте г. Петрозаводска человек проводит всего 4 % времени на холоде, поэтому мы не смогли бы обнаружить бóльшие изменения. На диапазон реакции ДЕ на температуру среды мог повлиять и размер тела. У животных-гибернаторов с массой < 5 кг во время зимней спячки температура тела снижается почти до 0 °С, тогда как у животных, сопоставимых по массе с человеком (медведь весом 60–100 кг), – всего на 6–7 °С [10].

Вторым интересным результатом можно считать снижение величины нелинейных параметров иЭМГ в весенний сезон. Это свидетельствует об упрощении временнóй структуры иЭМГ, что указывает на повышенную синхронизацию активности ДЕ [9], возможно, под действием гормонов, активирующихся весной (мелатонин, глюкокортикоиды), что было отмечено и ранее [2].

Таким образом, нейромышечный статус человека претерпевает весьма небольшие, но важные изменения в течение годового температурного цикла. В частности, зимой на 10 % снижается частота импульсации ДЕ, а весной наблюдается повышенная упорядоченность интерференционной ЭМГ, что свидетельствует об увеличенной синхронизации активности двигательных единиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурфинкель В. С., Левик Ю. С., Полещук Н. К., Коровин Ю. В. Зависимость теплопродукции скелетной мышцы от режима ее сокращения // Физиология человека. 1981. Т. 7. № 1. С. 46–54.
2. Мейгал А. Ю., Воронова Н. В., Елаева Л. Е., Кузьмина Г. И. Характеристика электромиограммы женщины в разные фазы менструального цикла в зависимости от сезона и типа вегетативной регуляции // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 1. С. 113–121.
3. Мейгал А. Ю., Герасимова Л. И., Золотова Е. В., Лупандин Ю. В. Произвольное рекрутирование двигательных единиц в условиях холодовой дрожи // Физиология человека. 1997. Т. 23. № 5. С. 64–68.
4. Мейгал А. Ю., Потемина А. М., Шегельман И. М. Влияние годового цикла и острой холодовой иммерсии на нейромышечный статус человека // Фундаментальные исследования. 2012. № 12. С. 341–345.
5. Соболев В. И., Чирва Г. И. Влияние мышечной работы на следовые эффекты холодовой акклимации // Физиологический журнал СССР. 1981. Т. 67. № 11. С. 1710–1716.
6. Сорокина Л. В., Лупандин Ю. В., Власова Л. П. Терморегуляционная активность мотонейронного пула у крыс, адаптированных к холоду и гипоксии // Физиологический журнал СССР. 1984. Т. 70. С. 75–80.
7. Сорокина Л. В., Медведев Н. В. Терморегуляционная активность двигательных единиц скелетных мышц голубя // Физиологический журнал СССР. 1986. Т. 72. № 11. С. 1571–1574.
8. Meigal A. Synergistic action of gravity and temperature on the motor system within the lifespan: a “Baby Astronaut” hypothesis // Med. Hypotheses. 2013. Vol. 80. № 3. P. 275–283.
9. Filligoi G., Felici F. Detection of hidden rhythms in surface EMG signals with a non-linear time-series tool // Med. Eng. Phys. 1999. Vol. 21. P. 439–448.
10. Toen Ø., Blake J., Edgar D. M., Grahn D. A., Heller H. C., Barnes B. M. Hibernation in black bears: independence of metabolic suppression from body temperature // Science. 2011. Vol. 331. № 6019. P. 807–974.

Meygal A. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Potemina A. M., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

CYRCANNUAL RHYTHM OF NEUROMUSCULAR STATUS IN HUMANS

Here we report on the neuromuscular status of healthy controls within the year. It was found out that during winter months motor units were decreasing their firing rate. Additionally, the interference electromyogram time-domain structure became more “simple” during spring season.

Key words: temperature, cold, adaptation, season, electromyogram, motor unit, nonlinear parameters

REFERENCES

1. Gurfinkel' V. S., Levik Yu. S., Poleshchuk N. A., Korovin Yu. V. Dependence of heat production by the skeletal muscle on the regime of contraction [Zavisimost' teploproduktsii skeletnoy myshtsy ot rezhima ee sokrashcheniya]. *Fiziologiya cheloveka*. 1981. Vol. 7. № 1. P. 46–54.
2. Meigal A. Yu., Voronova N. V., Yelaeva L. E., Kuz'mina G. I. Characteristics of electromyogram in women under various phases of the menstrual cycle, season, and type of vegetative regulation [Kharakteristika elektromiogrammy zhenshchiny v raznye fazy menstrual'nogo tsykla v zavisimosti ot sezona i tipa vegetativnoy regulyatsii]. *Fiziologiya cheloveka*. 2014. Vol. 40. № 1. P. 113–121.
3. Meigal A. Yu., Gerasimova L. I., Zolotova E. V., Lupandin Yu. V. Voluntary recruitment of motor units under cold shivering [Proizvol'noe rekrutirovanie dvigatel'nykh edinits v usloviyakh kholodovoy drozhi]. *Fiziologiya cheloveka*. 1997. Vol. 23. № 5. P. 64–68.
4. Meigal A. Yu., Potyemina A. M., Shegel'man I. M. Influence of the annual temperature cycle and acute cold immersion on the neuromuscular status in the man [Vliyaniye godovogo tsykla i ostroy kholodovoy immersii na neiromyshechnyy status cheloveka]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012. № 12. P. 341–345.
5. Sobolev V. I., Chirva G. I. Influence of the skeletal work on trace effects of cold acclimation [Vliyanie myshechnoy raboty na sledovye effekty kholodovoy akklimatsii]. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR*. 1981. Vol. 67. № 11. P. 1710–1716.
6. Sorokina L. V., Lupandin Yu. V., Vlasova L. P. Thermoregulatory activity of motoneuronal pool in rat adapted to cold and hypoxia [Termoregulyatsionnaya aktivnost' motoneironnogo pula u krys adaptirovannykh k kholodu i gipoksii]. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR*. 1984. Vol. 70. P. 75–80.
7. Sorokina L. V., Medvedev N. V. Thermoregulatory activity of motor units of skeletal muscles in pigeon [Termoregulyatsionnaya aktivnost' dvigatel'nykh edinits skeletnykh myshts golubya]. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR*. 1986. Vol. 72. № 11. P. 1571–1574.
8. Meigal A. Synergistic action of gravity and temperature on the motor system within the lifespan: a "Baby Astronaut" hypothesis // Med. Hypotheses. 2013. Vol. 80. № 3. P. 275–283.
9. Filligoi G., Felici F. Detection of hidden rhythms in surface EMG signals with a non-linear time-series tool // Med. Eng. Phys. 1999. Vol. 21. P. 439–448.
10. Toen Ø., Blake J., Edgar D. M., Grahn D. A., Heller H. C., Barnes B. M. Hibernation in black bears: independence of metabolic suppression from body temperature // Science. 2011.Vol. 331. № 6019. P. 807–974.

Поступила в редакцию 06.03.2014

Март, № 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 616-002.78

ИРИНА ИГОРЕВНА ПОЛЬСКАЯ
кандидат медицинских наук, ассистент кафедры госпитальной терапии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
irina_polskaya82@mail.ru

ИРИНА МИХАЙЛОВНА МАРУСЕНКО
доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной терапии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
imarusenko@yandex.ru

НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА ВЕЗИКОВА
доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vezikov23@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПОДАГРЫ ПРИ НАЛИЧИИ МЕТАБОЛИЧЕСКОГО СИНДРОМА

Цель данного исследования – изучение особенностей течения подагры в сочетании с метаболическим синдромом (МС) и оценка влияния комплексного терапевтического подхода на течение суставного синдрома и динамику метаболических нарушений. Обследовано 89 больных с первичной хронической подагрой, верифицированной на основании классификационных критериев S. Wallace et al., преимущественно мужчины – 74 (86,0 %), средний возраст 57,35 ± 12,41 года, медиана длительности заболевания на момент обращения 5,0 (2,0–10,0) года. МС выявлен у 63 % больных первичной хронической подагрой. Возраст дебюта подагры достоверно ниже у пациентов с подагрой в сочетании с МС – 47,51 ± 11,03 года ($p < 0,001$). В основной группе отмечена большая частота и длительность обострений подагры за год ($p < 0,01$ и $p < 0,05$ соответственно). Максимальные показатели мочевой кислоты (МК) сыворотки выявлены в группе подагры в сочетании с МС, имеют сильные прямые корреляционные связи с длительностью болезни ($R = 0,31$ при $p < 0,05$), а также частотой обострений за последний год ($R = 0,37$ при $p < 0,001$). На фоне терапии аллопуринолом у всех пациентов отмечено уменьшение частоты и длительности обострений, в группе «контроль уровня МК» частота (медиана 1,0 [0,0–2,5]) и длительность (медиана 2,5 [0,0–4,0]) обострений были достоверно ниже в сравнении с группой «нет контроля уровня МК» ($p < 0,01$). Среди пациентов, достигших в контрольные сроки целевых значений МК сыворотки, отмечено достоверно большее снижение таких показателей, как холестерин, липопротеины низкой плотности и триглицериды.

Ключевые слова: подагра, метаболический синдром, гиперурикемия, высокочувствительный С-реактивный белок

Связь между подагрой и артериальной гипертензией, почечной патологией, кардиоваскулярными заболеваниями изучается с конца XIX века, однако в XX веке вновь возник интерес к этой проблеме, но уже в свете новых приоритетов современной медицины – влияния на снижение заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых катастроф [6], [10], [13]. В многочисленных современных исследованиях была описана высокая распространенность МС среди пациентов с подагрой – более 60 %, увеличивающаяся с возрастом больных на 10–15 % [9], [14]. Как одна из причин столь высокой распространенности МС именно у больных подагрой рассматривается тесная связь отдельных метаболических нарушений с гиперурикемией. С другой стороны, накопленные данные о взаимном влиянии гиперурикемии и отдельных метаболических нарушений, их взаимосвязь с маркерами воспаления, такими как высокочувствительный С-реактивный белок, интерлейкин-6, α-фактор некроза опухоли, позволяют высказывать предположение о негативном влиянии коморбидной патологии на характер суставного синдрома при подагре. Исследования, затрагивающие этот вопрос, в настоящее время практически отсутствуют. Имеются немногочисленные данные, указывающие на негативное влияние МС на параметры течения подагры за счет увеличения хронических форм болезни, усугубления параметров суставного синдрома в виде формирования частых и затяжных обострений [1], [2], [3], [4], [5].

Понимание подагры как метаболического заболевания, для которого характерен высокий риск сердечно-сосудистых заболеваний, ее соче-

© Польская И. И., Марусенко И. М., Везикова Н. Н., 2014

тание с МС, влияющим на течение суставного синдрома, делает необходимым разработку комплексного подхода к терапии данной категории больных.

Цель – изучить особенности течения подагры в сочетании с МС и оценить влияние комплексного терапевтического подхода на течение суставного синдрома и динамику метаболических нарушений.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование включено 89 больных с первичной хронической подагрой. Диагноз подагры верифицировался на основании классификационных критериев S. Wallace et al. [15]. Обследование пациентов проводилось при первичном осмотре и в контрольные сроки наблюдения (12 месяцев) на базе ГУЗ «Республиканская больница им. В. А. Баранова» (Республика Карелия, Петрозаводск) в период с ноября 2007 года по май 2010 года. В исследуемой группе преобладали мужчины – 74 (86,0 %), средний возраст составил 57,35 ± 12,41 года, медиана длительности заболевания на момент обращения – 5,0 (2,0–10,0) года.

Возраст дебюта подагры в среднем составил 50,74 ± 11,91 года, у 39 (43,8 %) пациентов диагностирована тофусная подагра, 50 (56,2 %) больных страдали бестофусной формой заболевания. Среди сопутствующей патологии наиболее часто выявлялась артериальная гипертензия, хроническая болезнь почек, нефролитиаз, ишемическая болезнь сердца, подавляющее число больных употребляли алкоголь, не соблюдали диету. На момент первичного осмотра гипоурикемическую терапию аллопуринолом получали 59 (66,29 %) человек, доза препарата варьировала от 50 до 300 мг в сутки.

Клиническая характеристика больных основной группы представлена в табл. 1.

Всем пациентам проводилась оценка клинических признаков МС по критериям ВНОК второго пересмотра. МС был диагностирован у 56 (63,0 %) больных подагрой. На основании этого все пациенты были разделены на 2 сравниваемые группы: основная группа – подагра в сочетании с МС, группа сравнения – изолированный подагрический артрит.

Медиана окружности талии (ОТ) для мужчин составила 98 (95,0–102,0) см, для женщин – 88 (86,0–90,0) см. Абдоминальный тип ожирения был диагностирован у 38 (67,85 %) пациентов с ожирением и у 18 (32,15 %) пациентов с избытком массы тела. Среди остальных критериев метаболического синдрома у всех пациентов была выявлена артериальная гипертензия, гипертриглицеридемия была констатирована у 38 (82,60 %) мужчин и 6 (60,0 %) женщин, нарушение углеводного обмена отмечено у 26 (46,42 %) больных.

Таблица 1

Клиническая характеристика обследованных больных

Характеристика заболевания	Всего (n = 89)		Мужчины (n = 74)		Женщины (n = 15)	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Острая подагра	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Тофусная форма	41	46,06	37	50,00	4	26,60
Бестофусная форма	48	53,94	37	50,00	11	73,40
Общее количество тофусов, n						
Тофусов нет	48	53,93	37	50,00	11	73,33
От 1 до 2	29	32,58	26	35,13	3	20,0
От 3 до 10	11	12,35	10	13,51	1	6,67
Более 10	1	1,14	1	1,3	0	0,00
Частота обострений за последний год, n						
Нет обострений	0	0,00	0	0,00	0	0,00
От 1 до 3	59	66,29	48	64,86	11	73,40
От 4 до 6	22	24,71	18	24,32	4	26,60
От 7 до 10	3	3,37	3	4,07	0	0,00
Более 10	5	5,63	5	6,75	0	0,00
Длительность последнего обострения, нед.						
От 2 до 7 недель	69	77,52	57	77,02	12	80,00
От 8 до 14 недель	15	16,85	13	17,56	2	13,33
Более 14 недель	5	5,63	4	5,42	1	6,67
Число пораженных суставов за все время болезни, n						
От 1до 6	62	69,66	53	71,62	9	60,00
От 7 до 12	20	22,47	17	22,97	3	20,00
Более 12	7	7,87	4	5,41	3	20,00
Нефролитиаз, n						
Да	27	30,33	23	31,08	4	26,66
Нет	62	69,67	51	68,92	11	73,34
Терапия аллопуринолом, n						
Нет	30	33,70	22	29,72	8	53,33
Менее 100 мг	1	1,14	1	1,37	0	0,00
От 100 до 300 мг	58	65,16	51	68,91	7	46,67
Более 300 мг	0	0,00	0	0,00	0	0,00

Клинические методы исследования включали оценку суставного синдрома и параметров МС. Тяжесть течения подагры оценивалась на основании опроса больного и ретроспективного анализа анамнестических данных. Всем пациентам выполнялось исследование уровня МК, креатинина, гликемии натощак, определялись показатели липидного спектра: общего холестерина (ОХ), триглицеридов (ТГ), холестерина липопротеи-

нов высокой плотности (ХС ЛПВП), холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС ЛПНП). Количественное измерение высокочувствительного С-реактивного белка (вч-СРБ) в сыворотке крови осуществлялось с помощью высокочувствительного иммунометрического теста на анализаторе IMMULITE. Результаты исследования обрабатывались с помощью IBM-совместимого компьютера с процессором Pentium с использованием Microsoft Office Excel 2007 и пакета статистических программ Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведен анализ основных параметров течения подагры в зависимости от наличия МС. Данные представлены в табл. 2. В основной группе и группе сравнения преобладал хронический артрит с формированием или без формирования тофусов, около 70 % больных в среднем для каждой выборки. Возраст дебюта подагры был достоверно ниже у пациентов основной группы и составил 47,51 ± 11,03 года ($p < 0,001$), при этом общая длительность заболевания достоверно не различалась. Общее количество тофусов на момент первичного обращения в обеих выборках оказалось сходным. Основные отличия были выявлены при анализе суставного синдрома. Так, течение подагры у пациентов основной группы характеризовалось большей частотой 3,0 (2,0–5,0) и длительностью 7,0 (3,5–8,5) приступов, что было достоверно выше ($p < 0,01$ для частоты и $p < 0,05$ для длительности обострений) в сравнении с контрольной группой.

Таблица 2

Основные параметры течения подагры в зависимости от наличия МС

Показатель	Основная группа (n = 56)		Группа сравнения (n = 33)	
Рецидивирующее течение, тофусная форма	Кол-во	%	Кол-во	%
	5	8,92	5	15,15
Рецидивирующее течение, бестофусная форма	Кол-во	%	Кол-во	%
	11	19,64	6	18,19
Хроническое течение, тофусная форма	Кол-во	%	Кол-во	%
	21	37,50	11	33,33
Хроническое течение, бестофусная форма	Кол-во	%	Кол-во	%
	19	33,94	11	33,33
Возраст дебюта заболевания, лет	47,51 ± 11,03***		56,48 ± 11,33	
Длительность заболевания, лет	5,0 [2,0–8,5]		10,0 [2,0–12,0]	
Частота обострений за год, n	3,0 [2,0–5,0]**		2,0 [1,0–3,0]	
Длительность последнего обострения, нед.	7,0 [3,5–8,5]*		5,0 [3,0–7,0]	

Примечание. Достоверность различий при сравнении с показателями больных без МС отмечена * – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$, *** – при $p < 0,001$.

Таким образом, было отмечено, что наличие МС у пациентов с подагрой может предрасполагать к более раннему дебюту заболевания, а также ухудшает течение суставного синдрома за счет увеличения частоты и длительности обострений.

С целью выявления механизмов, способствующих усугублению течения подагры при сочетании с МС, исследованы уровни МК и вч-СРБ у пациентов основной группы и группы сравнения. При исследовании уровня МК в сыворотке у пациентов основной группы данный показатель был достоверно выше ($p < 0,01$) и варьировал от 222,0 до 762,0 (медиана 510,25 [441,0–593,0]) мкмоль/л. Уровень МК у пациентов с подагрой достоверно влиял на течение заболевания. В обеих группах более высокие показатели МК обусловливали увеличение частоты и длительности обострений. Необходимо отметить, что у пациентов с подагрой без МС затяжные обострения (14 недель и более) выявлялись при уровне МК 354,9 (316,8–393,0) мкмоль/л, что достоверно ниже, чем у пациентов основной группы ($p < 0,05$). Число пораженных суставов за все время болезни увеличивалось с нарастанием уровня МК в обеих сравниваемых группах (коэффициент корреляции $R = 0,22$, $p < 0,05$). Кроме того, у пациентов без МС с рецидивирующим характером артрита при наличии тофусов достоверно увеличивался сывороточный уровень МК ($p < 0,05$).

Сывороточный уровень вч-СРБ у пациентов основной группы варьировал от 0,12 до 37,4 (медиана 2,98 [1,45–5,85]) мг/л и был достоверно выше, чем в группе сравнения ($p < 0,001$). Распределение вч-СРБ у пациентов с подагрой колебалось в пределах от 0,12 до 38,4 (медиана 2,3 [1,0–4,11]) мг/л, большинство пациентов – 56 (63,0 %) – имели уровень вч-СРБ менее 3,0 мг/л. Учитывая особенности распределения признака, деление пациентов на группы проводилось по квартильному размаху вч-СРБ. Первую группу составили 56 (63,0 %) пациентов с уровнем вч-СРБ менее 3,0 мг/л, во вторую группу вошли 33 (37,0 %) больных с концентрацией вч-СРБ более 3,0 мг/л.

Возраст дебюта подагры у пациентов с уровнем вч-СРБ более 3,0 мг/л был несколько ниже, чем у пациентов с уровнем вч-СРБ менее 3,0 мг/л ($p = 0,05$). В группе пациентов с большим числом обострений за год выявлены достоверно более высокие показатели вч-СРБ ($p < 0,05$). Уровень вч-СРБ увеличивается при хроническом течении подагры, формировании тофусов и отражает большую частоту обострений за год. У пациентов без МС уровень вч-СРБ увеличивался при большей длительности заболевания, в то время как при МС показатели вч-СРБ не зависели от длительности заболевания.

При проведении корреляционного анализа наиболее сильная прямая корреляция отмечена для уровня МК и длительности болезни ($R = 0,31$ при $p < 0,05$), а также частоты обострений за последний год ($R = 0,37$ при $p < 0,001$).

Также в ходе работы были исследованы основные компоненты МС у пациентов основной группы и группы сравнения. Согласно рекомендациям Международной федерации по диабету, в качестве основного критерия МС рассматривается абдоминальное ожирение. У пациентов с подагрой без метаболического синдрома показатели массы тела, ИМТ, окружности талии были достоверно ниже в сравнении с таковыми в основной группе ($p < 0,001$). Ожирение (ИМТ $\geq$ 30 кг/м^2) в основной группе наблюдалось у 38 (67,85 %) больных, в остальных случаях констатирован избыток массы тела. Распространенность дополнительных признаков МС была высокой в обеих сравниваемых группах, однако выявление абдоминального ожирения как основного критерия МС и двух дополнительных признаков позволило диагностировать данную патологию только у 56 больных, страдающих подагрой. Данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Частота выявления дополнительных признаков МС у исследованных больных

Признак	Подагра и МС n, (%)	Подагра без МС n, (%)
АД $\geq$ 140/90 мм рт. ст.	56 (100 %)	15 (45,45 %)***
ХС ЛНП > 3,0 ммоль/л	53 (94,64 %)	27 (81,81 %)
ХС ЛПВП < 1,0 ммоль/л для мужчин или < 1,2 ммоль/л для женщин	28 (50,0 %)	19 (57,57 %)
ТГ > 1,7 ммоль/л	44 (78,57 %)	21 (63,63 %)**
НТГ / гипергликемия натощак	26 (46,42 %)	16 (48,48 %)

Примечание. Достоверность различий при сравнении с показателями основной группы отмечена ** – при $p < 0,01$, *** – при $p < 0,001$.

Была оценена зависимость уровня МК от параметров ожирения. В основной группе отмечено закономерное и достоверное ($p < 0,01$) увеличение уровня МК при нарастании ИМТ. Так, основная когорта больных с уровнем МК более 485 мкмоль/л имели ИМТ выше 30 кг/м^2. В ходе исследования выявлены сильные статистически значимые положительные корреляции уровня ТГ и МК в группе пациентов с МС ($R = 0,31$ при $p < 0,05$), систолического артериального давления (САД) и ХС ЛПНП с концентрацией вч-СРБ. Показатели вч-СРБ имели наиболее сильные корреляционные связи с ТГ ($R = 0,27$ при $p < 0,05$) и ХС ЛПВП ($R = –0,27$ при $p < 0,01$).

С увеличением уровня вч-СРБ возрастало количество отдельных признаков МС ($p < 0,01$). Так, у пациентов с наличием 4 и более дополнительных признаков МС уровень вч-СРБ превышал 5,0 мг/л, при этом максимальные значения вч-СРБ имели пациенты со всеми критериями МС.

На основе анализа полученных данных был сделан вывод о том, что тяжесть течения подагры у пациентов с МС объясняется именно совокупностью выраженной гиперурикемии и высоких значений вч-СРБ, с коэффициентом корреляции данных показателей $R = 0,25$ при $p < 0,05$. В результате была выдвинута гипотеза, что именно комплексный терапевтический подход, сочетающий в себе коррекцию гиперурикемии и основных метаболических нарушений у пациентов с подагрой и МС, может способствовать более адекватному контролю над заболеванием.

Для оценки течения подагры в сочетании с МС на фоне терапии было обследовано 44 (79 %) пациента основной группы через 12 месяцев. В качестве конечных точек эффективности терапии рассматривались такие показатели, как снижение частоты и длительности обострений, а также уменьшение суммарного риска ССЗ. Для достижения данных целей всем пациентам рекомендовалась коррекция основных факторов риска, назначалась терапия аллопуринолом, гипотензивные средства и статины по показаниям. Через 12 месяцев целевые значения МК сыворотки < 360 мкмоль/л были достигнуты только у 20 (36 %) больных. Динамика клинико-лабораторных показателей подагры в зависимости от достижения целевых значений МК представлена в табл. 4. Независимо от их достижения на фоне терапии аллопуринолом у всех пациентов отмечено уменьшение частоты и длительности обострений. Однако нужно отметить, что в группе «контроль уровня МК» частота (медиана 1,0 [0,0–2,5]) и длительность (медиана 2,5 [0,0–4,0]) обострений были достоверно ниже в сравнении с группой «нет контроля уровня МК» ($p < 0,01$).

Таблица 4

Динамика клинико-лабораторных показателей течения подагры в зависимости от достижения целевых значений МК через 12 месяцев

Показатель	«Контроль уровня МК» (n = 20)		«Нет контроля уровня МК» (n = 24)	
	Исходно	Через 12 месяцев	Исходно	Через 12 месяцев
Частота обострений за год, n	3,5 [2,0–4,5]	1,0 [0,0–2,5]	4,0 [2,0–6,0]	2,5** [1,5–4,5]
Длительность последнего обострения, нед.	6,0 [3,0–7,5]	2,5 [0,0–4,0]	7,0 [4,0–14,0]	4,5** [3,0–8,5]
Число тофусов, n	2,0 [0,0–2,0]	2,0 [0,0–2,0]	0,0 [0,0–2,0]	0,0 [0,0–2,0]
МК, мкмоль/л	493,67 ± 82,36	331,64 ± 38,27	553,7 ± 84,99	442,8 ± 59,52***
Вч-СРБ, мг/л	2,81 [1,69–3,58]	1,27 [0,87–2,12]	3,87 [1,2–15,14]	2,03* [1,08–4,4]

Примечание. Достоверность различий при сравнении с группой «контроль уровня МК» отмечена * – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$, *** – при $p < 0,001$.

Таблица 5

Динамика основных параметров МС на фоне терапии аллопуринолом в зависимости от достижения целевых значений МК

Показатель	«Контроль уровня МК» (n = 20)		«Нет контроля уровня МК» (n = 24)	
	Исходно	Через 12 месяцев	Исходно	Через 12 месяцев
ИМТ, кг/м^2	32,2 [29,0–34,2]	32,0** [28,5–33,5]	31,0 [30,0–33,5]	30,0*** [28,8–33,5]
ОТ, см	97,0 [94,0–102,0]	95,0*** [92,5–100,0]	97,0 [94,0–100,0]	96,0*** [93,5–99,0]
САД, мм рт. ст.	150,0 [145,0–159,0]	130,0*** [130,0–137,5]	145,0 [141,0–153,5]	136,0*** [130,0–140,0]
Гликемия, ммоль/л	5,59 ± 0,66	5,12 ± 0,61***	5,97 ± 0,95	5,64 ± 0,80**
ХС ЛПНП, ммоль/л	3,77 [3,46–4,85]	3,15*** [3,0–3,5]	3,96 [3,39–4,74]	3,3*** [3,0–3,97]
ХС ЛПВП, ммоль/л	1,06 [0,97–1,14]	1,15* [1,01–1,22]	1,01 [0,88–1,25]	1,12 [1,0–1,21]
ТГ, ммоль/л	2,65 [1,79–3,57]	2,18*** [1,71–2,51]	2,28 [1,51–3,18]	1,93** [1,67–2,45]

Примечание. Достоверность различий при сравнении с исходными данными отмечена * – при $p < 0,05$, ** – при $p < 0,01$, *** – при $p < 0,001$.

Динамика основных параметров метаболического синдрома на фоне терапии аллопуринолом в зависимости от достижения целевых значений МК представлена в табл. 5. В обеих сравниваемых группах отмечено достоверное снижение ИМТ, ОТ, уровня систолического артериального давления, концентрации ХС ЛПНП, ТГ, гликемии по сравнению с исходным уровнем. При анализе корреляции дозы аллопуринола со степенью изменения какого-либо из показателей МС достоверных связей получено не было, однако наиболее сильная корреляция выявлена между степенью снижения АД и дозой аллопуринола (R = 0,21).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование выявило достаточно высокую распространенность МС у пациентов с подагрой, по нашим сведениям, это 63 % больных, что в целом соответствует большинству литературных данных [7], [8]. Так, H. K. Choi и соавторы [9] показали, что распространенность данной патологии у пациентов с подагрой составляет 62,8 %, по результатам J. Vázguez-Mellado с соавторами [14], – 82 %. Наши данные также не противоречат результатам обследования больных подагрой в Научно-исследовательском институте ревматологии РАМН (НИИР РАМН), продемонстрировавшим 67 % распространенность МС у обследованных больных [5].

Среди дополнительных признаков МС, по данным проведенного исследования, выявлялась артериальная гипертензия (79,77 %), причем для пациентов с МС это значение составило 100 %, и гипертриглицеридемия (73,03 %). Полученные данные сопоставимы с результатами исследования, проведенного НИИР РАМН [5], но несколько ниже, чем в исследовании Vázguez-Mellado [14]. Как минимум один дополнительный признак МС был выявлен у всех обследованных больных, у 13 (23,21 %) были выявлены все 5 дополнительных признаков, что также соответствует данным литературы [5], [14].

В исследовании G. Zuliania [16] была проведена оценка взаимосвязи повышенного уровня вч-СРБ, маркера воспаления «low grade» и МС среди 1044 больных в возрасте старше 65 лет. В целом МС был выявлен у 31 % обследованных, при этом уровень вч-СРБ оказался достоверно выше ($p < 0,001$) в группе МС. По нашим результатам, при исследовании сывороточного уровня вч-СРБ у пациентов основной группы данный показатель составил 2,98 (1,45–5,85) мг/л и также был достоверно выше, чем в группе сравнения без МС ($p < 0,001$).

Накопленные данные о тесной связи гиперурикемии и отдельных метаболических нарушений при подагре, в том числе и их взаимное влияние, ассоциация синдрома инсулинорезистентности и МС с уровнем воспалительных цитокинов, позволяют высказывать предположения о негативном влиянии коморбидной патологии на характер суставного синдрома при подагре. Исследования, затрагивающие этот вопрос, в настоящее время практически отсутствуют, имеются только отдельные данные о негативной роли МС в течении подагрического артрита.

Так, в работах В. Г. Барсковой [1], [2] показано, что развитие ожирения и артериальной гипертензии в молодом возрасте может способствовать более раннему дебюту подагры, в то время как в более старшем возрасте для начала заболевания имеет значение нарастающий спектр сопутствующих болезней, при которых отмечено нарушение обмена МК.

Кроме того, было показано, что наличие синдрома инсулинорезистентности у больных подагрой способствует более ранней хронизации заболевания и большей выраженности суставного синдрома (склонность к затяжным обострениям, вовлечение значительно большего числа суставов). Данный факт объяснен достоверно более высокими показателями сывороточной концентрации МК, коррелирующими с уровнем иммунореактивного инсулина в группе больных с синдромом инсулинорезистентности [3], [4], [5].

По результатам нашего исследования, наличие МС у пациентов с подагрой предрасполагало к более раннему дебюту заболевания. Так, возраст дебюта подагры был достоверно ниже у пациентов основной группы и составил 47,51 ± 11,03 года ($p < 0,001$), при этом общая длительность заболевания достоверно не различалась. Общее количество тофусов на момент первичного обращения в обеих выборках оказалось сходным.

Основные отличия были выявлены при анализе суставного синдрома. Так, в основной группе отмечена большая частота и длительность обострений подагры за год ($p < 0,01$ и $p < 0,05$ соответственно).

Показатели МК сыворотки в проведенном исследовании также были максимальными в группе подагры в сочетании с МС (510,25 [441,0–593,0] мкмоль/л) и имели сильные прямые корреляции с длительностью болезни ($R = 0,31$ при $p < 0,05$), а также частотой обострений за последний год ($R = 0,37$ при $p < 0,001$).

Большой интерес представляет динамика параметров течения подагры на фоне проводимой комплексной терапии. Так, на фоне терапии аллопуринолом у всех пациентов отмечено уменьшение частоты и длительности обострений. Однако нужно отметить, что в группе «контроль уровня МК» частота (медиана 1,0 [0,0–2,5]) и длительность (медиана 2,5 [0,0–4,0]) обострений были достоверно ниже в сравнении с группой «нет контроля уровня МК» ($p < 0,01$).

На наш взгляд, интересным представляется тот факт, что у пациентов, достигших в контрольные сроки целевых значений МК сыворотки (менее 360 мкмоль/л), отмечено достоверно большее снижение таких показателей, как холестерин липопротеинов низкой плотности и триглицериды ($p < 0,001$). Особый интерес представляют полученные данные о корреляции дозы аллопуринола со степенью снижения артериального давления ($R = 0,21$), так, в группе пациентов с целевыми значениями МК степень артериальной гипертензии в контрольные сроки была достоверно ниже ($p < 0,05$). Данный эффект аллопуринола нуждается в дальнейшем изучении [12] для решения вопроса о возможности назначения препарата с целью коррекции метаболических нарушений у пациентов с бессимптомной гиперурикемией.

J. George и коллеги [11] провели обзор 10 исследований и показали, что в организме человека аллопуринол способен уменьшать эндотелиальную дисфункцию и увеличивать кардиальный выброс за счет блокады окислительного стресса. Полученные нами данные могут служить дополнительной предпосылкой для более детального изучения данного вопроса.

В заключение отметим, что с целью комплексного анализа течения заболевания, кроме оценки параметров суставного синдрома и сывороточной концентрации МК, целесообразно определять вч-СРБ, клинико-лабораторные признаки МС, а основой адекватного контроля над заболеванием является мультидисциплинарность терапевтического подхода: контроль уровня МК и коррекция факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний как медикаментозными, так и немедикаментозными методами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барскова В. Г. Метаболический синдром и кардиоваскулярные нарушения при подагре: Автореф. дис. … д-ра мед. наук. М., 2006. 291 с.
2. Барскова В. Г., Елисеев М. С., Насонов Е. Л. Синдром инсулинорезистентности у больных подагрой и его влияние на формирование клинических особенностей болезни // Тер. архив. 2004. Т. 76. № 5. С. 51–56.
3. Барскова В. Г., Насонова В. А. Подагра и синдром инсулинорезистентности // РМЖ. 2003. Т. 11. № 23. С. 12–20.
4. Елисеев М. С., Барскова В. Г., Ильиных Е. В. и др. Синдром инсулинорезистентности и подагра: исторический аспект и современное состояние проблемы // Клин. геронт. 2005. Т. 11. № 4. С. 30–41.
5. Елисеев М. С., Барскова В. Г., Насонова В. А. и др. Клиническое значение метаболического синдрома при подагре // Клин. геронт. 2006. Т. 12. № 2. С. 29–33.
6. Chen J. H., Chuang S. Y., Chen H. J. Serum uric acid level as an independent risk factor for all-cause, cardiovascular, and ischemic stroke mortality: A Chinese cohort study // Arthr. Rheum. 2009. Vol. 61. № 2. P. 225–232.
7. Chiou W. K., Lin J. D., Weng H. S. Correlation of the dysmetabolic risk factors with different anthropometric measurements // Endocrine J. 2005. Vol. 52. № 1. P. 139–148.
8. Chiou W. K., Wang M. H., Huang D. H. The relationship between serum uric acid level and metabolic syndrome: Differences by sex and age in Taiwanese // J. Epidem. 2010. Vol. 20. № 3. P. 219–224.
9. Choi H. K., Ford E. S., Li C. Y. Prevalence of the Metabolic syndrome in patients with gout: The Third National Health and Nutrition Examination Survey // Arthr. Rheum. 2007. Vol. 57. № 1. P. 109–115.
10. Edwards N. L. The role of hyperuricemia and gout in kidney and cardiovascular disease // Clev. Clin. J. Med. 2008. Vol. 75. P. 13–16.
11. George J., Struthers A. Role of urate, xanthine oxidase and the effects of allopurinol in vascular oxidative stress // Vasc. Helth Risk Man. 2009. Vol. 5. P. 265–272.
12. Kanbay M., Ozkara A., Selcoki Y. Effect of treatment of hyperuricemia with allopurinolon blood pressure, creatinine clearence, and proteinuria in patients with normal renal functions // Int. Urol. Nephrol. 2007. Vol. 39. P. 1227–1233.
13. Krishnan E., Svendsen K., Neaton J. D. MRFIT research group long-term cardiovascular mortality among middle-aged men with gout // Arch. Intern. Med. 2008. Vol. 168. № 10. P. 1104–1110.
14. Vázguez-Mellado J., Garsiá C. G., Vazguez S. G. et al. Metabolic syndrome and ischemic heart disease in gout // J. Clin. Rheum. 2004. Vol. 3. № 10. P. 105–109.
15. Wallace S. L., Robinson H., Masi A. T. et al. Preliminary criteria for the classification of the acute arthritis of gout // Arthr. Rheum. 1977. Vol. 20. P. 895.
16. Zuliania G., Volpatoa S., Galvania M. Elevated C-reactive protein levels and metabolic syndrome in the elderly // Atherosclerosis. 2009. Vol. 203. № 2. P. 626–632.

Pol'skaya I. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Marusenko I. M., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Vezikova N. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

CHARACTERISTIC FEATURES OF GOUT DEVELOPMENT IN PRESENCE OF METABOLIC SYNDROME

The purpose of this research is study and evaluate characteristic features of gout development in conjunction with metabolic syndrome. The other goal was to assess the impact of integrated therapeutic approach on joint syndrome and dynamics of metabolic disorders. The study included 89 patients with primary chronic gout, which was verified on the basis of S. Walles et al classification criteria. The studied group consisted predominantly of male patients – 74 (86,0 %), middle age males – 57,35 ± 12,41 years, the average duration of the disease by the time of reference to the doctor was about 5,0 (2,0–10,0) years. Metabolic syndrome was diagnosed in 63 % of patients with primary chronic gout. The onset of the disease was significantly lower in patients with gout in conjunction with MS – 47,51 ± 11,03 years ($p < 0,001$). Higher frequency and duration of exacerbations of gout per year $p < 0,01$ and $p < 0,05$ respectively was registered in the studied group. Maximum values of serum uric acid was found in the group of patients suffering from gout in conjunction with metabolic syndrome. A strong direct correlation with the duration of the disease ($R = 0,31$ at $p < 0,05$), as well as high frequency of exacerbations in the last year ($R = 0,37$ at $p < 0,001$) were noted. Patients treated with allopurinol therapy showed a decrease in frequency and duration of exacerbations. In the "control level MK" group the frequency (median 1,0 [0,0–2,5]) and duration (median 2,5 [0,0–4,0]) of exacerbations were significantly lower when compared with the group "No level control IC" ($p < 0,01$). Patients with targeted values of serum uric acid showed a significant decrease in such indicators as cholesterol, LDL density and triglycerides.

Key words: gout, metabolic syndrome, hyperuricemia, high-sensitivity C-reactive protein

REFERENCES

1. Barskova V. G. *Metabolicheskiy sindrom i kardiovaskulyarnye narusheniya pri podagre: Avtoref. dis. ... d-ra med. nauk* [Metabolic syndrome and cardiovascular disorders in gout: Dr. med. sci. diss.]. Moscow, 2006. 291 p.
2. Barskova V. G., Eliseev M. S., Nasonov E. L. Insulin resistance syndrome in patients with gout and its influence on the formation of the clinical features of the disease [Sindrom insulinorezistentnosti u bol'nykh podagroy i ego vliyanie na formirovanie klinicheskikh osobennostey bolezni]. *Ter. arkhiv.* 2004. Vol. 76. № 5. P. 51–56.
3. Barskova V. G., Nasonova V. A. Gout and insulin resistance syndrome [Podagra i sindrom insulinorezistentnosti]. *RMZh.* 2003. Vol. 11. № 23. P. 12–20.
4. Eliseev M. S., Barskova V. G., Il'inykh E. V. Insulin resistance syndrome and gout: the historical aspect and state of the art [Sindrom insulinorezistentnosti i podagra: istoricheskiy aspekt i sovremennoe sostoyanie problemy]. *Klin. geront.* 2005. Vol. 11. № 4. P. 30–41.
5. Eliseev M. S., Barskova V. G., Nasonova V. A. Clinical significance of metabolic syndrome in gout [Klinicheskoe znachenie metabolicheskogo sindroma pri podagre]. *Klinich. geront.* 2006. Vol. 12. № 2. P. 29–33.
6. Chen J. H., Chuang S. Y., Chen H. J. Serum uric acid level as an independent risk factor for all-cause, cardiovascular, and ischemic stroke mortality: A Chinese cohort study // Arthr. Rheum. 2009. Vol. 61. № 2. P. 225–232.
7. Chiou W. K., Lin J. D., Weng H. S. Correlation of the dysmetabolic risk factors with different anthropometric measurements // Endocrine J. 2005. Vol. 52. № 1. P. 139–148.
8. Chiou W. K., Wang M. H., Huang D. H. The relationship between serum uric acid level and metabolic syndrome: Differences by sex and age in Taiwanese // J. Epidem. 2010. Vol. 20. № 3. P. 219–224.
9. Choi H. K., Ford E. S., Li C. Y. Prevalence of the Metabolic syndrome in patients with gout: The Third National Health and Nutrition Examination Survey // Arthr. Rheum. 2007. Vol. 57. № 1. P. 109–115.
10. Edwards N. L. The role of hyperuricemia and gout in kidney and cardiovascular disease // Clev. Clin. J. Med. 2008. Vol. 75. P. 13–16.
11. George J., Struthers A. Role of urate, xanthine oxidase and the effects of allopurinol in vascular oxidative stress // Vasc. Helth Risk Man. 2009. Vol. 5. P. 265–272.
12. Kanbay M., Ozkara A., Selcoki Y. Effect of treatment of hyperuricemia with allopurinolon blood pressure, creatinine clearence, and proteinuria in patients with normal renal functions // Int. Urol. Nephrol. 2007. Vol. 39. P. 1227–1233.
13. Krishnan E., Svendsen K., Neaton J. D. MRFIT research group long-term cardiovascular mortality among middle-aged men with gout // Arch. Intern. Med. 2008. Vol. 168. № 10. P. 1104–1110.
14. Vázguez-Mellado J., Garsiá C. G., Vazguez S. G. et al. Metabolic syndrome and ischemic heart disease in gout // J. Clin. Rheum. 2004. Vol. 3. № 10. P. 105–109.
15. Wallace S. L., Robinson H., Masi A. T. et al. Preliminary criteria for the classification of the acute arthritis of gout // Arthr. Rheum. 1977. Vol. 20. P. 895.
16. Zuliania G., Volpatoa S., Galvania M. Elevated C-reactive protein levels and metabolic syndrome in the elderly // Atherosclerosis. 2009. Vol. 203. № 2. P. 626–632.

Поступила в редакцию 20.03.2013

Март, № 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 611.438:615.367

ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ ВАСЕНДИН
кандидат медицинских наук, доцент кафедры техносферной безопасности Института кадастра и природопользования, Сибирская государственная геодезическая академия (Новосибирск, Российская Федерация)
vasendindv@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ТИМУСЕ ПРИ ПОВРЕЖДАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Рассматривается актуальная проблема современной медицинской науки – изучение и анализ особенностей структурных изменений в центральном органе иммунной (лимфоидной) системы и эндокринной железе одновременно – тимусе – при воздействии на организм различных повреждающих факторов. Дан обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященной этой проблеме. Анализируется, какие изменения структуры тимуса являются основным субстратом его патологии. Результаты проведенных исследований позволяют выделить две фазы протекания реакции после воздействия повреждающих факторов – анаболическую и катаболическую с характерными для них морфологическими критериями. В анаболической фазе определяются значительные структурные изменения на органном, тканевом, клеточном, субклеточном и молекулярном уровнях организации во всех зонах органа. Железистые структуры, в частности эпителиальные клетки, являются одним из наиболее уязвимых компонентов микроокружения тимуса.

Ключевые слова: тимус, инволюция, атрофия, повреждение, крысы Вистар

Термин «стресс» введен в научный оборот Г. Селье [20] и означает в переводе «напряжение». По его представлениям, состояния стресса различной степени и продолжительности возникают во всех случаях, когда меняющиеся условия среды обитания предъявляют организму определенные требования, ставят перед ним задачи, решение которых требует мобилизации внутренних резервов, напряжения систем регуляции. Таким образом, стресс (общий адаптационный синдром) – это необходимое звено неспецифической реактивности организма, элемент и этап его адаптации к условиям жизни, иными словами, компонент нормальной жизнедеятельности, фактор сохранения гомеостаза. Каждый действующий на организм фактор среды в силу особенностей своей природы вызывает ответную специфическую реакцию, адекватную качеству и силе раздражения, но в любой такой ситуации (как остающейся в пределах нормальной физиологии, так и патологической) обязательно присутствует и неспецифический компонент, характеризующий состояние напряжения как таковое, степень активации систем поддержания гомеостаза. В зависимости от специфичности стрессорного фактора сформировались представления о болевом, холодовом, тепловом и других повреждающих (стрессовых) факторах.

Г. Селье [20] показал, что при стрессе основные сдвиги возникают со стороны эндокринной и иммунной систем, участвующих в поддержании постоянства внутренней среды организма в данных условиях.

Тимус является центральным органом иммунной, или лимфоидной, системы и эндокринной железой одновременно. В эмбриологическом аспекте вилочковая железа – один из первых эндокринных органов и первый лимфоидный орган. В тимусе происходят пролиферация костномозговых предшественников Т-лимфоцитов, селекция антигенспецифичных Т-клеток, удаление аутореактивных клонов до функционально зрелых форм и селективная миграция зрелых Т-лимфоцитов на периферию [12]. Эпителиальные клетки тимуса вырабатывают целую серию гормонов полипептидной природы. Большинство гормонов вилочковой железы являются местнодействующими, обеспечивают и регулируют ее функции по типу паракринных и аутокринных влияний, однако некоторые секретируются в кровь и оказывают системные эффекты [26].

Тимус является динамичным органом. Во время всего периода эмбрионального развития и постнатальной жизни высших организмов отсутствует сколько-нибудь продолжительный отрезок времени, в течение которого тимус находился бы в стабильном состоянии [11]. Достигнув своего расцвета, тимус сразу же начинает регрессировать, подвергается возрастной инволюции. Кроме того, тимус реагирует на любые внешние воздействия. Еще в начале нашего столетия J. Hammar назвал резкое уменьшение массы тимуса, возникающее под влиянием травм, голодания, охлаждения, различных заболеваний, акцидентальной инволюцией [24]. В дальнейшем было признано, что акцидентальная инволюция тимуса есть не что иное, как проявление адапта-

© Васендин Д. В., 2014

ционного синдрома Г. Селье в ответ на стрессовые воздействия. Несмотря на то что изучению тимуса при стрессе было посвящено довольно много работ, эта проблема привлекает внимание исследователей и в настоящее время [4], [15].

В зависимости от качества, силы и продолжительности воздействия стресс-агента изменяется характер ответной реакции в органе. Как правило, небольшие по силе раздражители вызывают незначительные изменения структуры тимуса, более жесткие воздействия приводят к более выраженным деструктивным изменениям, ведущим к атрофии органа [6], [18]. Анализ результатов большого ряда работ позволяет нам распределить изменения, наблюдаемые исследователями в тимусе после различных воздействий, на 4 группы в зависимости от их силы.

В большинстве литературных источников, касающихся структурных преобразований в тимусе при повреждающих воздействиях, основное внимание уделяется лимфоидной части органа. Изменения микроциркуляторного русла и эпителиального компонента описываются значительно реже. Однако реакция со стороны сосудистого русла тимуса отмечается уже при **воздействии слабых стрессовых факторов**, которые практически не оказывают влияния на состояние структурно-функциональных зон тимуса и клеточный состав его лимфоидной части. Так, было установлено, что через сутки после воздействия таких факторов, как краткосрочная иммобилизация, шум, умеренно высокая температура, рентгеновское облучение в дозе 7 Гр, в течение 2,5 мин., происходят реактивные изменения сосудистого русла экспериментальных животных [14]. Авторы отмечают расширение и полнокровие нутритивных и емкостных сосудов микроциркуляторного русла, резкое уменьшение количества нефункционирующих капилляров, отек цитоплазмы эндотелиоцитов и перинуклеарного пространства, сладжирование эритроцитов. Также были выявлены значительное количество пиноцитозных пузырьков и нарушение контактов эндотелиальных клеток. В последующие сроки наблюдения сосудистая реакция в вилочковой железе не обнаруживалась. Если количественные параметры клеточного состава тимуса не отличались у животных после таких воздействий, как краткосрочная иммобилизация, шум и умеренно высокая температура, от контрольных данных, то после облучения в дозе 7 Гр исследователями были отмечены более выраженные ультраструктурные изменения лимфоцитов в виде расширения перинуклеарного пространства, набухания митохондрий и профилей эндоплазматической сети. Причем данное ионизирующее излучение рассматривается авторами именно в качестве стресс-фактора, на который организм реагирует адаптационным синдромом.

Воздействия на организм слабой и средней силы не приводят к инволюции тимуса (уменьшение массы, объема) и практически не изменяют его структуру, но при этом вызывают снижение митотической активности и приводят к изменению клеточного состава органа.

В эксперименте показано, что слабые болевые воздействия, создаваемые в результате инъекций физиологического раствора, не отражались на соотношении структурно-функциональных зон тимуса, но оказывали влияние на их цитологический состав [2]. В подкапсульной зоне тимуса во все сроки эксперимента было снижено число митозов, уменьшалась доля эпителиальных клеток, а доля средних и малых лимфоцитов возрастала, исчезали нейтрофильные и эозинофильные гранулоциты, численность плазматических клеток изменялась волнообразно – уменьшалась после однократного введения, увеличивалась после 7-кратного введения и вновь снижалась через 14 сут. воздействия. В центральной зоне коры тимуса уменьшалась концентрация малых лимфоцитов и увеличивалось число плазматических клеток. В зоне кортикомедуллярного соединения снижалась митотическая активность, усиливались деструктивные процессы, возрастало количество макрофагов и плазматических клеток. В центральной зоне мозгового вещества увеличивалась доля эпителиальных клеток, а доля малых и средних лимфоцитов снижалась, возрастало количество плазматических клеток.

Некоторые исследователи, используя в своих экспериментах умеренные воздействия, отмечают даже увеличение массы тимуса. Л. И. Александрова обнаружила, что воздействие переменного электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) до 3 дней приводило к активации лимфоидной ткани тимуса у кроликов, что проявлялось в возрастании массы и объема тимуса, в небольшом увеличении площади коркового вещества, в повышении процента средних лимфоцитов, ретикулярных клеток и макрофагов в корковом веществе [1]. Рост коркового и мозгового вещества тимуса на фоне снижения митотической активности отмечал М. Р. Сапин [19] у крыс после воздействия паров промышленного яда диметилсульфата в дозе, равной ПДК, в течение 2 сут. При этом в обеих зонах увеличивалось процентное содержание малых и средних лимфоцитов, а количество бластов и больших лимфоцитов снижалось. Эти факты автор связывает с нарушением миграции лимфоцитов из органа. При этом им отмечались усиление процессов разрушения лимфоцитов и реутилизация их макрофагами, уменьшение относительной площади тимусных телец.

При **несколько более высокой интенсивности воздействий** в тимусе отмечается усиление лимфоцитопоэза, о чем свидетельствует увели-

чение в нем количества малодифференцированных клеток. Так, при ограничении подвижности и при умеренной физической нагрузке у мышей линии BALB/c были отмечены снижение митотической активности и возрастание количества бластов и больших лимфоцитов во всех зонах вилочковой железы [18]. Авторы полагают, что происходит торможение процессов размножения клеток в тимусе, а в целом показатели малодифференцированных клеток и митотической активности в тимусе зависят от вида экспериментального воздействия и от исследованной зоны и предположительно связаны с процессами образования, трансформации и миграции исследованных клеток как между структурными элементами, так и за пределы органа.

Л. В. Волкова [6] в ответ на физические нагрузки обнаружила снижение численности средних и малых лимфоцитов во всех зонах тимуса, увеличение количества бластов и больших лимфоцитов на фоне неизмененной митотической активности. Автор делает вывод, что выявленные клеточные перестройки в паренхиме тимуса свидетельствуют о высокой функциональной активности этого органа в ответ на многократно повторяющиеся стрессовые воздействия.

Л. Х. Гаркави, Е. Б. Квакина, Е. А. Шейко [7] при воздействии магнитного поля наблюдали стимуляцию функциональной активности лимфоидного компонента, на что указывают высокое число лимфобластов и усиление пролиферации. А. П. Жданов [10] отмечал в центральной части коркового вещества и в кортико-медуллярной зоне тимуса крыс с экспериментальным экзотоксикозом (воздействие 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты) увеличение количества незрелых форм клеток лимфоидного ряда, что свидетельствовало об активации лимфоцитопоэтической функции органа, при этом численность средних лимфоцитов уменьшалась, но значительно увеличивалось количество макрофагов. В центральной части мозгового вещества тимуса число лимфобластов уменьшалось почти на 50 % при возрастании численности средних лимфоцитов.

Существенно отличается реакция вилочковой железы на **экстремальные воздействия**. В тимусе происходят выраженные изменения на органном, тканевом, клеточном и субклеточном уровнях организации, приводящие к уменьшению массы и объема органа, снижению численности лимфоидных клеток во всех структурно-функциональных зонах тимуса. Эти изменения являются классическим проявлением акцидентальной инволюции, вызываемой стрессом или действием токсических агентов, которые могут оказывать свои эффекты как непосредственно, так и опосредованно через высвобождение эндогенных кортикостероидов [23]. При инволюции тимуса, вызванной разными причинами, преимущественно поражается корковое вещество, в то время как зона мозгового вещества остается более устойчивой [1], [5], [8], [11], [17], [19].

В результате исследования цитологического профиля тимуса обнаруживается уменьшение числа молодых клеточных форм (бластов, больших лимфоцитов) и митотически делящихся клеток в корковом веществе (особенно в подкапсульной зоне), что свидетельствует о снижении лимфоцитопоэтической функции и подавлении митотической активности клеток и их дифференцировке. Кроме того, уменьшается число малых лимфоцитов, возрастает количество деструктивно измененных клеток и макрофагов, что отражает усиление процессов деструкции клеток в органе [3], [5], [8], [14], [17], [19]. Многие исследователи отмечают увеличение количества плазматических клеток в тимусе и связывают это с усиленным поступлением в тимус аутоантигенов в результате повышения проницаемости гематотимического и капсулярно-тимического барьеров [1], [3], [14], [17].

В усиление процесса гибели лимфоцитов в корковом веществе вилочковой железы, особенно в ее капсулярной зоне, могут вносить значительный вклад медиаторы, выделяющиеся тучными клетками. Учеными отмечаются увеличение численности тучных клеток в строме тимуса и усиление их дегрануляции в ответ на различные стрессовые воздействия [6], [16], [17], [19].

В последние годы особое внимание уделяется железистым структурам вилочковой железы. При экстремальных воздействиях на организм исследователи выявляют выраженные изменения эпителиального компонента этого органа. М. Р. Сапиным [19] в мозговом веществе тимуса экспериментальных животных после длительного воздействия диметилсульфата обнаружены гипертрофия и увеличение процентного содержания эпителиальных клеток, значительное увеличение площади тимических телец, что автор связывает с усилением секреторной активности тимусного эпителия. В. Э. Торбек [21] отмечает признаки гипертрофии эпителиальных клеток I и II типов и усиление процессов внутриклеточной дифференцировки у животных после введения ацетата гидрокортизона. Л. А. Обуховой [17] при экстремальном охлаждении крыс выявлено увеличение частоты обнаружения железистых образований. Н. И. Ковальская, Г. Ф. Максимова, А. Р. Акрамов [13] через сутки после внутрибрюшинного введения липополисахарида мышам наблюдали появление во всех зонах тимуса слоистых структур из крупных эпителиальных клеток. Увеличение в мозговом веществе количества телец Гассаля отмечалось у экспериментальных животных после воздействия переменного электромагнитного поля промышленной частоты (50 Гц) [1], [7].

Важную роль в поддержании постоянства внутренней среды организма в условиях стресса играет сосудистая система, поскольку от интенсивности кровоснабжения зависит уровень метаболизма в тканях. Различные экстремальные воздействия, приводящие к акцидентальной инволюции тимуса, вызывают резкое усиление сосудистой реакции в органе. Исследователи регистрируют значительное расширение и полнокровие кровеносных сосудов, опустошение периваскулярных зон, увеличение площади сосудистого русла мозгового вещества тимуса у крыс уже после 4-суточной ингаляции парами промышленного яда диметилсульфата [19], усиление сосудистой реакции и очаги кровоизлияний у белых беспородных мышей на воздействие рентгеновского облучения (360 Гр в течение 25 мин.) [14], расширение и полнокровие сосудов, появление полостей, заполненных пикнотически измененными клетками и нейтрофилами в тимусе у мышей на 3-и сутки после внутрибрюшинного введения липополисахарида [13], увеличение объемной плотности кровеносных капилляров при экстремальном охлаждении организма [17]. С. В. Боброва [3] отмечает нарушение цитоархитектоники эндотелия сосудов и целостности гематотимического барьера в вилочковой железе у экспериментальных животных после вибрационных воздействий. Л. А. Обухова [17] в ультраструктурном исследовании тимуса крыс при экстремальном охлаждении организма выявила увеличение просвета капилляров, уменьшение толщины стенок и возрастание плотности микропиноцитозных везикул, но не обнаружила нарушений гематотимического барьера в органе; ею сделано предположение о повышении проницаемости последнего за счет увеличения транс-эндотелиального везикулярного транспорта.

Экстремальные воздействия приводят не только к преобразованию лимфоидной части органа, изменениям эпителиального компонента и микроциркуляторного русла. Некоторые исследователи отмечают увеличение площади капсулы и междольковой соединительной ткани после длительного вдыхания экспериментальными животными паров промышленного яда диметилсульфата [19], возрастание доли соединительной и жировой ткани в вилочковой железе при многократно повторяющихся физических нагрузках [5] и даже развитие реактивного склероза стромы после вибрационных воздействий [3].

Нами исследованы изменения структурной и ультраструктурной организации тимуса у самцов крыс линии Вистар в различные сроки (5 ч; 3, 7 и 14 сут.) после однократного воздействия на организм животных высокой внешней температуры. Было установлено, что воздействие экспериментальной гипертермии приводит к формированию инволюции тимуса, носящей временный, обратимый характер. Временная инволюция органа соответствовала катаболической фазе постгипертермического периода, что выражалось в снижении относительного веса тимуса, уменьшении относительной площади мозгового вещества и плотности лимфоцитов во всех зонах, особенно во внутренней зоне коркового вещества. На тканевом уровне были выявлены усиление деструктивных процессов, признаки периваскулярного отека, миграция клеточных элементов в лимфатические пространства и капилляры. К концу катаболической (14-е сут.) фазы наблюдалось практически полное восстановление органа [4].

Г. А. Мороз [15] выявил морфофункциональные особенности тимуса двенадцатимесячных крыс при многократно повторяющемся гипергравитационном воздействии: развивающаяся гипоксия и стресс-реакция потенцируют дистрофические процессы, инициированные воздействием гипергравитации, которые затрагивают как лимфоцитарный, так и эпителиальный компонент тимуса, что особенно характерно для хронического стресса.

Таким образом, воздействие на организм повреждающих (стрессовых) факторов различной силы и интенсивности приводит к формированию акцидентальной инволюции тимуса, носящей временный, обратимый характер, основу морфогенеза которого составляет атрофический процесс, протекающий по типу апоптоза. Выявленные различными авторами изменения структуры вилочковой железы однозначно характеризуют срыв адаптационных механизмов в исследованном органе. Степень выраженности выявленных нарушений зависит от кратности и силы воздействия повреждающих факторов и является проявлением общей адаптационно-приспособительной реакции организма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Л. И. Морфология органов иммунной системы при воздействии переменного электромагнитного поля промышленной частоты: Автореф. дис. … д-ра мед. наук. М., 1995. 40 с.
2. Аминова Г. Г., Ерофеева Л. М., Симакова Е. Б. Вилочковая железа при болевых воздействиях // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1988. Т. 94. № 3. С. 60–65.
3. Боброва С. В. Структурно-функциональные нарушения лимфоидных органов при вибрационных воздействиях и их коррекция эссенциальными фосфолипидами: Дис. … д-ра мед. наук. Новосибирск, 2002. 486 с.
4. Васендин Д. В. Структурные изменения в тимусе после воздействия высокой температуры (экспериментальное исследование): Дис. … канд. мед. наук. Новосибирск, 2009. 171 с.
5. Вихрук Т. И. Изменения тимуса и лимфатических узлов при адаптации организма к различным режимам двигательной активности в условиях иммунокоррекции и без нее: Автореф. дис. … д-ра мед. наук. СПб., 1996. 40 с.

6. Волкова Л. В. Повышение устойчивости к плазмацитоме Р3-Х63-Ag8.653-МОРС после многократных повторяющихся стрессовых воздействий // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1994. № 2. С. 161–163.
7. Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Шейко Е. А. Морфологический анализ тимуса белых крыс с опухолью при экспериментальной химиотерапии и ее сочетании с активационными воздействиями переменным магнитным полем // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1994. Т. 118. № 11. С. 535–539.
8. Григоренко Д. Е., Ерофеева Л. М., Сапин М. Р. Цитологический профиль тимуса и селезенки мышей после гамма-облучения // Морфология. 1997. Т. 112. № 6. С. 53–57.
9. Гриневич Ю. Ф., Чеботарев В. Ф. Иммунобиология гормонов тимуса. Киев: Здоров'я, 1989. 152 с.
10. Жданов А. П. Лимфоидные органы в условиях нормы и дестабилизации хлорорганическими пестицидами с последующей коррекцией: Дис. … д-ра мед. наук. Новосибирск, 2003. 277 с.
11. Ивановская Т. Е., Зайратьянц О. В., Леонова Л. В., Волощук И. Н. Патология тимуса у детей. СПб.: СОТИС, 1996. 271 с.
12. Кветной И. М., Ярилин А. А., Полякова В. О., Князькин И. В. Нейроиммуноэндокринология тимуса. СПб.: Изд-во ДЕАН, 2005. 160 с.
13. Ковальская Н. И., Максимова Г. Ф., Акрамов А. Р. Инволюция и восстановление тимуса мышей после введения им полисахарида // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1990. Т. 109. № 3. С. 280–283.
14. Корнев М. А., Кульбах О. С., Стрельникова Н. А. Состояние иммунной, репродуктивной и эндокринной систем организма при облучении в условиях воздействия стресс-факторов нерадиационной природы // Морфология. 1995. Т. 108. № 1. С. 30–34.
15. Мороз Г. А. Морфофункциональные особенности тимуса двенадцатимесячных крыс при многократно повторяющемся гипергравитационном воздействии // Морфология. 2010. Т. 4. № 3. С. 23–27.
16. Мяделец О. Д. Морфометрические изменения тканевых базофилов кожи и лимфоидных органов при общей глубокой гипотермии // Архив патологии. 1989. № 5. С. 59–62.
17. Обухова Л. А. Структурные преобразования в системе лимфоидных органов при действии на организм экстремально низких температур и в условиях коррекции адаптивной реакции полифенольными соединениями растительного происхождения: Дис. … д-ра мед. наук. Новосибирск, 1998. 316 с.
18. Сапин М. Р., Аминова Г. Г., Григоренко Д. Е., Ерофеева Л. М., Волкова Л. В. Влияние физических нагрузок различной интенсивности на некоторые элементы лимфоидной ткани тимуса и селезенки // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1993. Т. 116. № 11. С. 539–541.
19. Сапин М. Р., Этинген Л. Е. Иммунная система человека. М.: Медицина, 1995. 304 с.
20. Селье Г. Очерки адаптационного синдрома. М.: Медицина, 1960. 254 с.
21. Торбек В. Э. Клеточный состав и ультраструктура тимуса потомства при изменении гормонального фона в функциональной системе мать – плод // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1988. Т. 95. № 10. С. 80–83.
22. Cuper C. F., Harleman J. H., Richter-Reichelm H. D., Vos J. G. Histopathologic approaches to detect changes indicative of immunotoxiciti // Toxicological Pathology. 2000. Vol. 28. P. 454–466.
23. Germolec D. R., Kashon M., Nyska A., Kuper C. F., Portier C., Kommineni C., Jonson K. A., Luster M. I. The accuracy of extended histipathology to detect immunotoxis chemicals // Scientific Toxicology. 2004. Vol. 82. P. 504–514.
24. Hammar J. Die Menschen Thymus. Leipzig: Zeitschrift Microscopie, Anatomie Forschung, 1929. 219 p.
25. Harleman J. H. Approaches to the identificationand recording of findings in the limphoreticular organs indicative for immunotoxicity in regulatory type toxicity studies // Toxycology. 2000. Vol. 142. P. 213–239.
26. Kendall M. D., Stebbings R. J. The eidocrine thymus // Endocrinology Journal. 1994. Vol. 2. P. 333–339.

Vasendin D. V., Siberian State Geodetic Academy (Novosibirsk, Russian Federation)

PECULIARITEIS OF STRUCTURAL CHANGES IN THYMUS UNDER DAMAGING INFLUENCE (literature review)

The article deals with one of the pressing issues of modern medical science: research and analysis of particular structural changes occurring simultaneously in the central organ of the immune (lymphoid) system and in the endocrine gland – thymus – under the influence of various damaging factors. A review of the national and foreign literature devoted to the problem is provided. In this publication, we try to analyze changes in the structure of thymus and their effect on the substratum of its pathology. The research results helped to allocate a two-phase reaction under exposure to damaging factors – "anabolic and catabolic" with typical morphological criteria. In the "anabolic" phase, significant structural changes on the organ, tissue, cellular, sub-cellular, and molecular levels of organization are revealed. Glandular structures, epithelial cells in particular, are the most vulnerable components of thymic microenvironment.

Key words: thymus, involution, atrophy, damage, Vistar rats

REFERENCES

1. Aleksandrova L. I. *Morfologiya organov immunnoy sistemy pri vozdeystvii peremennogo elektromagnitnogo polya promyshlennoy chastoty. Avtoref. diss. ... d-ra med. nauk* [The morphology of the organs of the immune system when exposed to alternating electromagnetic field of industrial frequency. Dr. med. sci. diss.]. Moscow, 1995. 40 p.
2. Aminova G. G., Erofeev L. M., Simakova E. B. Thymus gland under pain exposure [Vilochkovaya zheleza pri bolevykh vozdeystviyakh]. *Arhiv anatomii, gistologii i embriologii* [Archives of anatomy, histology and embryology]. 1988. Vol. 94. № 3. P. 60–65.
3. Bobrova S. V. *Strukturno-funktsional'nye narusheniya limfoidnykh organov pri vibratsionnykh vozdeystviyakh i ikh korrektsiya essentsial'nymi fosfolipidami. Diss. ... d-ra med. nauk* [Structural and functional disorders of lymphoid organs under vibration impact and their correction by means of essential phospholipids. Dr. med. sci. diss.]. Novosibirsk, 2002. 486 p.
4. Vasendin D. V. *Strukturnye izmeneniya v timuse posle vozdeystviya vysokoy temperatury (eksperimental'noe issledovanie). Diss. ... kand. med. nauk* [Structural changes in the thymus after exposure to high temperature (experimental study). PhD. med. sci. diss.]. Novosibirsk, 2009. 171 p.

5. Vikhruk T. I. *Izmeneniya timusa i limfaticheskikh uzlov pri adaptatsii organizma k razlichnym rezhimam dvigatel'noy aktivnosti v usloviyakh immunokorrektsii i bez nee. Avtoref. diss. ... d-ra med. nauk* [Changes of thymus m lymph nodes during organism adaptation to different modes of physical activity in conditions of immunocorrection and without it. Dr. med. sci. diss.]. St. Petersburg, 1996. 40 p.
6. Volkova L. V. Increased resistance to plasmacytoma P3-X63-Ag8.653-MOPC after multiple repetitive stress factors [Povyshenie ustoychivosti k plazmatsitome P3-X63-Ag8.653-MOPC posle mnogokratnykh povtoryayushchikhsya stressovykh vozdeystviy]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of experimental biology and medicine]. 1994. № 2. P. 161–163.
7. Garkavi L. Kh., Kvakina E. B., Sheyko E. A. Morphological analysis of thymus in white rats with tumors in experimental chemotherapy and its combination with activation impacts of a changing magnetic field [Morfologicheskiy analiz timusa belykh krys s opukhol'yu pri eksperimental'noy khimioterapii i ee sochetanii s aktivatsionnymi vozdeystviyami peremennym magnitnym polem]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of experimental biology and medicine]. 1994. Vol. 118. № 11. P. 535–539.
8. Grigorenko D. E., Erofeeva L. M., Sapin M. P. Cytological profile of thymus and spleen of mice after gamma-irradiation [Tsitologicheskiy profil' timusa i selezenki myshey posle gamma-oblucheniya]. *Morfologiya* [Morphology]. 1997. Vol. 112. № 6. P. 53–57.
9. Grinevich Yu. F., Chebotarev V. F. *Immunobiologiya gormonov timusa* [Immunobiology hormones thymus]. Kiev, Zdorov'ya Publ., 1989. 152 p.
10. Zhdanov A. P. *Limfoidnye organy v usloviyakh normy i destabilizatsii khlororganicheskimi pestitsidami s posleduyushchey korrektsiey. Diss. ... d-ra med. nauk* [Lymphoid organs in normal conditions and under destabilization of organochlorine pesticides with subsequent correction Dr. med. sci. diss.]. Novosibirsk, 2003. 277 p.
11. Ivanovskaya T. E., Zayrat'yants O. V., Leonova L. V., Voloshchuk I. N. *Patologiya timusa u detey* [Pathology of the thymus in children]. St. Petersburg, SOTIS Publ., 1996. 271 p.
12. Kvetnoy I. M., Yarilin A. A., Polyakova V. O., Knyaz'kin I. V. *Neyroimmunoendokrinologiya timusa* [Neuroimmunoendocrinology thymus]. St. Petersburg, DEAN Publ., 2005. 160 p.
13. Koval'skaya N. I., Maksimova G. F., Akramov A. R. Involution and restoration of thymus in mice after introducing them to the polysaccharide [Involyutsiya i vosstanovlenie timusa myshey posle vvedeniya im polisakharida]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of experimental biology and medicine]. 1990. Vol. 109. № 3. P. 280–283.
14. Kornev M. A., Kul'bakh O. S, Strel'nikova N. A. State of the immune reproductive and endocrine systems of the body when exposed to conditions of stress-factors not ionizing radiation nature [Sostoyanie immunnoy reproduktivnoy i endokrinnoy sistem organizma pri obluchenii v usloviyakh vozdeystviya stress-faktorov neradiatsionnoy prirody]. *Morfologiya* [Morphology]. 1995. Vol. 108. № 1. P. 30–34.
15. Moroz G. A. Morphofunctional features of thymus of twelve-month-old rats exposed to repeated hypergravity [Morfofunktsional'nye osobennosti timusa dvenadtsatimesyachnykh krys pri mnogokratno povtoryayushchemsya gipergravitatsionnom vozdeystvii]. *Morfologiya* [Morphology]. 2010. Vol. 4. № 3. P. 23–27.
16. Myadelets O. D. Morphometric changes in the skin tissue basophiles and lymphoid organs under deep hypothermia [Morfometricheskie izmeneniya tkanevykh bazofilov kozhi i limfoidnykh organov pri obshchey glubokoy gipotermii]. *Arkhiv patologii* [Archive of pathology]. 1989. № 5. P. 59–62.
17. Obukhova L. A. *Strukturnye preobrazovaniya v sisteme limfoidnykh organov pri deystvii na organizm ekstremal'no nizkikh temperatur i v usloviyakh korrektsii adaptivnoy reaktsii polifenol'nymi soedineniyami rastitel'nogo proiskhozhdeniya. Diss. ... d-ra med. nauk* [Structural transformations in the system of lymphoid organs under exposure of the body to extremely low temperatures and in conditions of correction of adaptive reactions of polyphenolic compounds of phytogenic origin. Dr. med. sci. diss.]. Novosibirsk, 1998. 316 p.
18. Sapin M. R., Aminova G. G., Grigorenko D. E., Erofeeva L. M., Volkova L. V. Influence of physical loads of different intensity on some elements of lymphoid tissue of the thymus and spleen [Vliyanie fizicheskikh nagruzok razlichnoy intensivnosti na nekotorye elementy limfoidnoy tkani timusa i selezenki]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of experimental biology and medicine]. 1993. Vol. 116. № 11. P. 539–541.
19. Sapin M. R., Etingen L. E. *Immunnaya sistema cheloveka* [The human Immune system]. Moscow, Meditsina Publ., 1995. 304 p.
20. Sel'ye G. *Ocherki adaptatsionnogo sindroma* [Essays on adaptation syndrome]. Moscow, Meditsina Publ., 1960. 254 p.
21. Torbek V. E. The cellular structure and ultrastructure of the thymus offspring under hormonal change in the functional mother-fetus system [Kletochnyy sostav i ul'trastruktura timusa potomstva pri izmenenii gormonal'nogo fona v funktsional'noy sisteme mat' – plod]. *Arkhiv anatomii, gistologii i embriologii* [Archives of anatomy, histology and embryology]. 1988. Vol. 95. № 10. P. 80–83.
22. Cuper C. F., Harleman J. H., Richter-Reichelm H. D., Vos J. G. Histopathologic approaches to detect changes indicative of immunotoxiciti. Toxicological Pathology. 2000. Vol. 28. P. 454–466.
23. Germolec D. R., Kashon M., Nyska A., Kuper C. F., Portier C., Kommineni C., Jonson K. A., Luster M. I. The accuracy of extended histipathology to detect immunotoxis chemicals. Scientific Toxicology. 2004. Vol. 82. P. 504–514.
24. Hammar J. Die Menschen Thymus. Leipzig: Zeitschrift Microscopie, Anatomie Forschung, 1929. 219 p.
25. Harleman J. H. Approaches to the identification and recording of findings in the limphoreticular organs indicative of immunotoxicity in regulatory type toxicity studies // Toxycology. 2000. Vol. 142. P. 213–239.
26. Kendall M. D., Stebbings R. J. The endocrine thymus. Endocrinology Journal. 1994. Vol. 2. P. 333–339.

Поступила в редакцию 30.09.2013

Март, № 2 **Науки о Земле** **2014**

УДК 314.172+613.63:314.4(470.22)

ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ РЫБАКОВ
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт геологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
rybakovd@krc.karelia.ru

ВЫБРОСЫ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ КАК РЕГИОНАЛЬНЫЙ ФАКТОР ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СМЕРТНОСТИ

Выявлена сильная линейная статистическая связь между уменьшающимися выбросами загрязняющих веществ от объектов вида экономической деятельности «производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них», вносящими наибольший вклад в сокращение региональных выбросов, и смертностью от болезней системы кровообращения. Статистическая связь этого показателя с количеством выбросов загрязняющих веществ от остальных обрабатывающих производств (кроме производства алюминия) лучше всего описывается уравнением степенной зависимости. Скачкообразный рост смертности от новообразований в 2008 году может быть следствием резкого увеличения выбросов от автотранспорта в 2006 году (наличие двухлетнего лага). Кроме того, ухудшение демографических показателей по причине распространенности новообразований статистически достоверно связано с ростом выбросов загрязняющих веществ от существующих объектов добычи и переработки железных руд. Минимальная оценка числа случаев смерти из-за загрязнения воздуха составила за 2002–2012 годы 10,5 % от общего количества умерших в Республике Карелия за этот период, в 2012 году – 5,1 %. Гипотетический потенциал сокращения смертности в регионе в случае прекращения загрязнения воздуха составляет 32,9 % от общего числа умерших в 2012 году.

Ключевые слова: выбросы загрязняющих веществ, виды экономической деятельности, коэффициенты смертности, основные причины смерти

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы вопросы, связанные с резкими изменениями демографических показателей, находятся под пристальным вниманием медиков, специалистов в области геоэкологии и общественности. По данным ВОЗ, экологические факторы ответственны за 23 % случаев смерти в мире [2], что объясняет интерес к этой тематике со стороны ученых, занимающихся проблемами экологических рисков. Исследования, проведенные для групп регионов Северо-Запада России, в частности, показали [3], что улучшение качества и доступности медицинского обслуживания увеличивает уровень заболеваемости в силу лучшей диагностики различных патологий, однако значительно снижает уровень смертности. Вместе с тем полноценные математические модели, которые бы увязывали ежегодно меняющиеся значения экологических и демографических показателей, для конкретного региона созданы не были. В Республике Карелия к настоящему времени накоплены статистические данные как по суммарным выбросам загрязняющих веществ от различных источников, включая промышленность и автотранспорт, так и уровню смертности, в том числе с разбивкой по классам причин смерти.

В настоящей работе впервые сопоставляются многолетние изменения показателей техногенных выбросов загрязняющих веществ и смертности населения изучаемого региона, прослеживаются корреляционные связи между ними, выявляются виды экономической деятельности (ВЭД), создающие за счет загрязнения воздуха дополнительный риск умереть от основных причин смерти, осуществляется грубый расчет (оценка) числа дополнительных случаев смерти, связанных с выбросами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для построения математических (статистических) моделей и выявления корреляционных связей использовались данные по выбросам загрязняющих веществ от стационарных и передвижных (автотранспорт) источников и данные медицинской статистики, опубликованные за период 1994–2012 годов в государственных докладах о состоянии окружающей среды в Республике Карелия. Корректировка значений коэффициентов смертности осуществлялась на основании информации, имеющейся на сайте Карелиястата (http://krl.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/krl/ru/statistics/population/).

Так называемые лонгитудинальные исследования, к которым можно отнести используемые нами методические приемы, применяются главным образом при регистрации изменений состояния здоровья населения, подвергающегося вредному воздействию загрязнения окружающей среды [1] и др. Поскольку упорядоченных сведений о концентрациях вредных веществ в атмосферном воздухе и показателях смертности населения в конкретных населенных пун-

© Рыбаков Д. С., 2014

ктах за длительный период времени в открытом доступе найти не удалось, осуществлена попытка анализа данных в целом по изучаемому региону. Вместо регулярно измеряемых концентраций вредных веществ в воздухе использовались ежегодные данные о суммарном количестве их выбросов, в том числе по отдельным ВЭД.

Эффективность использования сведений о суммарных выбросах определяется узкопрофильным характером региональной экономики, в которой доминируют предприятия нескольких ВЭД. В том числе среди них представлены: «добыча полезных ископаемых» (ОАО «Карельский окатыш», относимое до 2005 года к отрасли народного хозяйства «черная металлургия»), «производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них» (ОАО «Кондопога», ОАО «Сегежский ЦБК», ОАО «Целлюлозный завод “Питкяранта”»), «металлургическое производство» (производство алюминия в ОАО Филиал «НАЗ-СУАЛ») и в наибольшей мере рассредоточенное «производство и распределение электроэнергии, газа, пара и горячей воды» (Петрозаводская ТЭЦ, Филиал «Карельский ОАО “ТГК-1”», ОАО «Петрозаводские коммунальные системы», ООО «Лоухские коммунальные системы», ООО «Прометей», МУП «Теплоэнергия» и др.). Такая структура экономики сформировалась в течение всего периода наблюдений за счет закрытия многих предприятий, организаций и воинских частей, которые могли вносить определенный местный «шум» в характер устанавливаемых взаимосвязей. Так, в 1994 году в регионе по своим выбросам отчитались 470 предприятий, в 1997 – 430, в 2002 – 402, а в 2008 – только 367. В 2012 году на территории республики насчитывалось 225 объектов, имеющих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу.

Для проверки нормальности распределения значений в статистических выборках, расчета парных коэффициентов корреляции, построения графиков использовался пакет «Анализ данных» программы Microsoft Excel.

Оценка минимального числа умерших из-за загрязнения воздуха за период 2002–2012 годов проводилась с учетом адекватности построенных статистических моделей, использованием текущих и минимальных показателей смертности, в том числе в соответствующих классах причин смерти, показателей численности и общей смертности населения.

Гипотетический потенциал сокращения смертности рассчитывался, исходя из теоретической возможности прекращения воздействия загрязненного воздуха на здоровье населения, предположения о сохранении при этом адекватности построенных моделей, среднегодовой численности населения Карелии, общего числа умерших в 2012 году, значений показателей смертности, зафиксированных в этом же году и полученных уравнений линейной регрессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от всех стационарных источников в Карелии снизилось с 200,9 тыс. т в 1994 году до минимального значения 96,0 тыс. т в 2011 году, а в 2012 году вновь несколько выросло до 106,6 тыс. т (рис. 1). Это уменьшение – следствие прекращения работы многих небольших предприятий и котельных, падения производства на крупных промышленных объектах, замены на них угля и мазута на природный газ и древесное топливо, а также повышения эффективности и ввода новых газоочистных сооружений. Количество выбросов от автотранспорта с 1994 года колебалось в интервале от 39,1 до 87,7 тыс. т и в 2011 году составило 72,1 тыс. т (см. рис. 1).

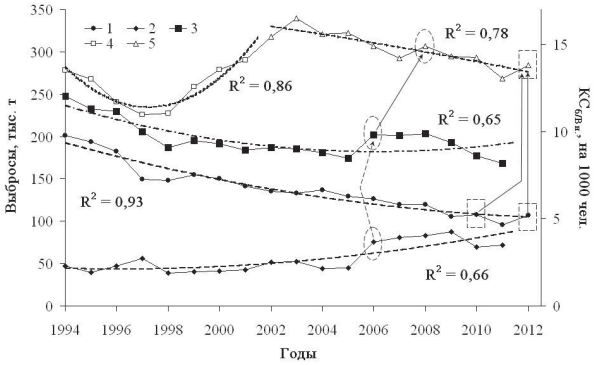


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ и смертность населения в 1994–2012 годах: выбросы: 1 – от стационарных источников, 2 – от автотранспорта, 3 – общие от стационарных источников и автотранспорта; общие коэффициенты смертности без учета случаев смерти от внешних причин ($КС_{б/Вн.}$): 4 – 1994–2001 годы, 5 – 2002–2012 годы; тренды – полиномиальные второй степени; R^2 – коэффициенты детерминации

В ходе изменения значений общего коэффициента смертности, не учитывающего количества случаев смерти от внешних причин (случайных отравлений, несчастных случаев, убийств и самоубийств), на рис. 1 можно выделить два периода. Так, в 1994–2003 годах наблюдается как снижение, так и рост данного показателя. В целом за этот период смертность населения (без учета внешних факторов) колебалась в пределах от 11,0 до 16,5 случая на каждую 1000 человек. С 2004 по 2011–2012 годы в целом фиксируется тенденция снижения данного показателя (с 16,5 до 13,1 и 13,8 соответственно) с относительно небольшими всплесками в 2008 и 2012 годах.

Основными причинами смерти являются (1994–2012 годы): болезни системы кровообращения (53,2–56,1 % случаев), внешние причины (20,2–10,2 %) и онкологические заболевания (10,5–15,6 %). При этом в 2008 году злокачественные новообразования как причина смерти устойчиво вышли на второе место, сместив внешние причины на третье (в 2012 году их доли составили 15,6 и 10,2 % соответственно).

Статистическая связь между количеством выбросов и числом случаев смерти от болезней системы кровообращения, а также всех причин за исключением внешних в период с 1994 по 2001 год отсутствует (рис. 2). Этот факт может объясняться: более значительным количеством источников выбросов в этот промежуток времени, не приносящих заметного ущерба здоровью, в определенной мере сокращением численности регистрируемого населения, зафиксированным переписью 2002 года (разница между данными текущей статистики и данными переписи составила 36,9 тыс. человек, или 4,9 %), а также, возможно, другими факторами. Наиболее сильная статистическая связь отмечается (см. рис. 2) в период с 2002 по 2012 год между количеством выбросов и смертностью от болезней системы кровообращения, несколько менее сильная – между количеством выбросов и общей смертностью за исключением случаев смерти от внешних причин.

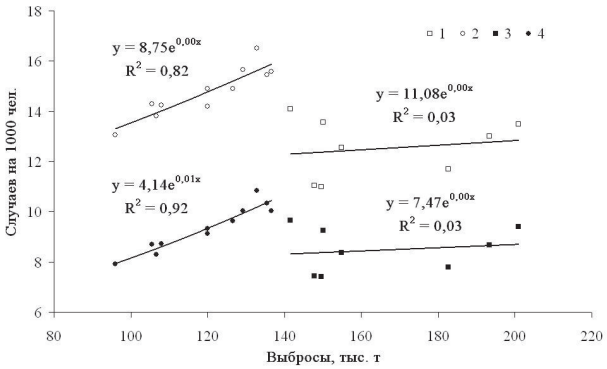


Рис. 2. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников и смертность населения: 1 – без учета случаев смерти от внешних причин в 1994–2001 годах, 2 – то же в 2002–2012 годах, 3 – от болезней системы кровообращения в 1994–2001 годах, 4 – то же в 2002–2012 годах

Основной объем выбросов загрязняющих веществ в экономике региона приходится на объекты добычи и переработки железных руд ОАО «Карельский окатыш» и обрабатывающие производства (в сумме за 2002–2012 годы – 78,2–87,4 %). При этом, если выбросы от обрабатывающих предприятий постепенно снижались с 65,6–65,9 тыс. т в 2002–2003 годах до 30,1 тыс. т в 2012 году, то ОАО «Карельский окатыш» за это же время их увеличил с 42,0 до 60,5 тыс. т.

В структуре выбросов от обрабатывающих предприятий ведущее место принадлежит ВЭД, основу которого все больше (83,7–88,9 % в 2002–2004 годах и 92,0–95,3 % в 2005–2012 годах) составляет ЦБП, сосредоточенная в трех районах – Сегежском, Кондопожском и Питкярантском. Включая деревообработку (16,4–4,7 % выбросов) этот ВЭД ответственен за 50,7–53,2 тыс. т (2002–2004 годы) и до 20,3 тыс. т (2012 год) выброшенных в атмосферу загрязняющих веществ. Такие значительные сокращения и, как следствие, улучшение экологической обстановки в жилых кварталах Сегежи и Кондопоги, находящихся непосредственно вблизи крупнейших ЦБК, позволили зафиксировать тесную прямую корреляционную связь между выбросами предприятий данного ВЭД и коэффициентом смертности от болезней системы кровообращения ($r = 0,96$ при $r_{P=0,95;\ f=9} = 0,60$). В связи с этим статистическая связь между указанными параметрами надежно описывается линейным трендом (рис. 3).

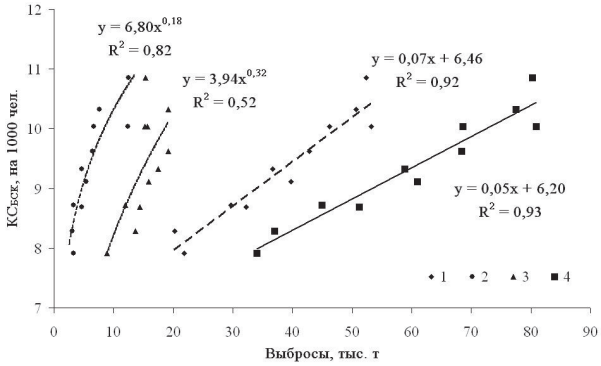


Рис. 3. Выбросы загрязняющих веществ от трех ВЭД и смертность населения от болезней системы кровообращения ($КС_{БСК}$) в 2002–2012 годах: 1 – ЦБП и деревообработка, 2 – прочие обрабатывающие производства (кроме производства алюминия), 3 – электроэнергетика и жилищно-коммунальный комплекс, 4 – всего по трем ВЭД

Вклад в снижение смертности по данному классу причин может также вносить сокращение выбросов от предприятий остальных обрабатывающих производств (кроме алюминиевого завода ОАО Филиал «НАЗ-СУАЛ») – $r = 0,85$, а также объектов ВЭД «производство и распределение электроэнергии, газа, пара и горячей воды» – $r = 0,68$ (в обоих случаях критическое значение $r_{P=0,95;\ f=9} = 0,60$). Вместе с тем статистическая связь в этих случаях лучше описывается степенными моделями, хотя уровни их адекватности различаются (рис. 3).

Изменение количества загрязняющих веществ, поступивших в атмосферу от объектов ОАО «Карельский окатыш» и ОАО Филиал «НАЗ-СУАЛ», не сказалось на улучшении общего по республике показателя смертности населения от болезней системы кровообращения (соответственно $r = -0,77$ и $-0,35$). Увеличившиеся за это время выбросы от автотранспорта также не повлияли на данный показатель ($r = -0,69$).

Общее снижение выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников (см. рис. 1) не приводит к адекватному сокращению смертности от новообразований. Наоборот, происходит рост числа умерших по этому классу причин (см. таблицу).

На рис. 1 представлен график изменения количества отходящих газов от автотранспорта. Между данным показателем и значением коэффициента смертности от новообразований существует прямая корреляционная связь ($r = 0,61$ при критическом $r_{P=0,95;\ f=16} = 0,47$).

Оценка вероятного минимального числа умерших по причинам заболеваний, вызванных загрязнением воздуха, за период 2002–2012 годов и потенциала сокращения смертности на 2012 год

Годы	ОКС, на 1000 чел.	КС, на 1000 чел.				$БСК_i – БСК^i_{min}$		$Нов_i – Нов_{min}$		$б/Вн_i – б/Вн_{min}$		Среднегодовая численность населения, тыс. чел.	Всего умерших, чел.	Умерших из-за загрязнения (оценка минимума)	
		БСК	Нов.	Вн.	б/Вн.	на 1000 чел.	%	на 1000 чел.	%	на 1000 чел.	%			чел.	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2002	18,70	10,33	2,16	3,26	15,45	2,41	23,3	0,17	7,9	*2,58*	16,7	718,350	13435	1853	13,8
2003	19,86	10,85	2,09	3,36	16,50	2,93	**27,0**	0,10	4,8	3,44	**20,8**	711,948	14141	2449	**17,3**
2004	18,55	10,04	1,99	2,97	15,58	2,12	21,1	0,00	0,0	2,52	16,2	699,148	13092	1762	13,5
2005	18,53	10,04	2,06	2,87	15,66	2,12	21,1	0,07	3,4	2,60	16,6	682,800	12649	1775	14,0
2006	17,50	9,63	2,08	2,59	14,91	1,71	17,8	0,09	4,3	1,85	12,4	670,500	11716	1240	10,6
2007	16,62	9,12	2,06	2,43	14,19	1,20	13,2	0,07	3,4	*1,27*	8,9	662,200	11007	841	7,6
2008	16,96	9,32	2,36	2,07	14,89	1,40	15,0	0,37	15,7	1,83	12,3	656,583	11134	1202	10,8
2009	16,28	8,69	2,33	1,98	14,30	0,77	8,9	0,34	14,6	1,24	8,7	651,233	10599	808	7,6
2010	16,19	8,72	2,32	1,94	14,25	0,80	9,2	0,33	14,2	1,19	8,4	645,641	10451	768	7,4
2011	14,78	7,92	2,25	1,72	13,06	0,00	0,0	0,26	11,6	*0,26*	2,0	641,132	9474	167	1,8
2012	15,36	8,28	2,41	1,55	13,81	0,36	4,3	0,42	**17,4**	*0,78*	5,6	638,307	9804	498	5,1
												Всего	**127502**	**13363**	**10,5**
Расчет потенциала сокращения смертности из-за загрязнения атмосферного воздуха на конец 2012 года															
2012	15,36	8,28	2,41	1,55	13,81	4,14	50,0			5,06	36,6	638,307	9804	3230	**32,9**

Примечания. ОКС – общий коэффициент смертности; КС – коэффициент смертности по классам причин: БКС – болезни системы кровообращения, Нов. – новообразования, Вн. – внешние причины, б/Вн. – без учета внешних причин (ОКС – Вн.); цифры курсивом – сумма ($БСК_i – БСК_{min}$) и ($Нов_i – Нов_{min}$) при ее превышении рассчитанного значения ($б/Вн_i – б/Вн_{min}$); среднегодовая численность населения – средняя арифметическая из численностей на начало и конец соответствующего года (по данным государственной статистики); столбец 15 = столбец 13 х столбец 11, столбец 16 = столбец 15 х 100/столбец 14; при расчете потенциала сокращения смертности использованы уравнения экспоненциальных моделей (см. рис. 2), где 8,75 и 4,14 – коэффициенты, совпадающие с прогнозными значениями $б/Вн_{min}$ и $БСК_{min}$ соответственно при гипотетическом отсутствии выбросов (х = 0).

Отмечается заметный пик в общей динамике снижения коэффициента смертности, не учитывающего число случаев смерти от внешних причин, приходящийся на 2008 год, – 14,9 на 1000 чел. населения (рост на 4,9 % по сравнению с 2007 годом) (см. рис. 1). Это увеличение связано с резким ростом смертности от новообразований в указанном году – на 14,6 % по сравнению с 2007 годом (см. таблицу). Зафиксировано наличие двухлетнего лага между пиками выбросов в 2006 году и скачком смертности населения в 2008 году (см. рис. 1). Учет данного лага усиливает корреляционную связь между выбросами автотранспорта и значением коэффициента смертности от новообразований (r = 0,73 при критическом $r_{P=0,95;\ f=15}$ = 0,48). Увеличение показателей смертности в 2012 году (см. рис. 1, таблицу) с загрязнением от автотранспорта не связывается.

Вклад в увеличение числа случаев смерти от новообразований могут также вносить выбросы, образующиеся в результате добычи и переработки железных руд на ОАО «Карельский окатыш»: r = 0,60 при критическом $r_{P=0,95;\ f=14}$ = 0,50; с учетом лага в два года r = 0,78 при $r_{P=0,95;\ f=12}$ = 0,53. Если принять во внимание наличие гипотетического двухлетнего лага, то критический рост смертности от новообразований в 2012 году (2,41 случая на 1000 чел. населения) может быть обусловлен самым большим за 1997–2011 годы количеством загрязняющих веществ, выброшенных ОАО «Карельский окатыш» в 2010 году (53,9 тыс. т). В 2012 году производственными объектами ОАО «Карельский окатыш» выброшено еще больше загрязнителей – 60,5 тыс. т.

В разрезе восемнадцати муниципальных образований, по данным Центра гигиены и эпидемиологии в Республике Карелия, в 2006–2008 годах на первом месте по распространенности новообразований среди населения находился г. Петрозаводск, в котором вклад автотранспорта в загрязнение атмосферного воздуха достиг 90 %, на втором – г. Костомукша, в районе которого сосредоточены объекты добычи и переработки железных руд. Влияние алюминиевого производства, расположенного в небольшом поселке городского типа Надвоицы (1,28 % от общей численности населения республики), на рост среднего по региону значения коэффициента смертности от новообразований не ощущается (r = –0,54).

Учитывая тесные статистические связи между соответствующими параметрами, в приведенной выше таблице предпринята попытка оценки минимального числа дополнительных случаев смерти от заболеваний, вызванных загрязнением воздуха в результате вредных выбросов в 2002–

2012 годах. Из таблицы видно, что в результате загрязнения воздуха минимальное число умерших в разные годы от болезней системы кровообращения может достигать 27 % от числа всех умерших по этой причине (2003 год), от новообразований – 17,4 % (2012 год), от всех причин за исключением внешних – 20,8 % (2003 год). Минимальное число дополнительных случаев смерти в результате загрязнения воздуха в Республике Карелия может варьировать от 17,3 % от общего количества всех случаев смерти (2003 год) до 1,8 % (2011 год). То есть оценки значения минимума смертности из-за загрязнения атмосферного воздуха не выходят за рамки оценок ВОЗ по смертности от воздействия всех экологических факторов.

В случае теоретически возможного прекращения выбросов от стационарных источников при сохранении адекватности полученных моделей (см. рис. 2) потенциал сокращения смертности в регионе может составить 32,9 % от общего числа умерших в 2012 году (см. таблицу).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы математической статистики позволяют установить связь между количеством выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и подвижных (автотранспорт) источников и параметрами смертности населения Карелии. Так, снижение смертности от болезней системы кровообращения статистически тесно связано с сокращением выбросов от обрабатывающих производств (кроме производства алюминия ОАО Филиал «НАЗ-СУАЛ»), прежде всего от объектов ЦБП ($R^2 > 0{,}80–0{,}90$), а также, менее заметно, в том числе из-за широкого распределения по территории региона, от объектов энергетики и жилищно-коммунального комплекса.

Резкий рост выбросов от автотранспорта в 2006–2007 годах, по-видимому, определил скачкообразный переход в 2008–2012 годах на более высокий уровень смертности от новообразований. Проведение дальнейших мероприятий по оценке экологических рисков при таких переходах количества в качество требует учитывать наличие лага между моментом воздействия и появлением эффекта, в данном случае отсутствием в определенный срок выживаемости больных злокачественными новообразованиями.

Созданные статистические модели для подтверждения их достоверности в дальнейшем необходимо дополнять вновь поступающими данными. При отклонении новых данных от указанных моделей следует оценивать воздействие ранее отсутствовавших или слабо проявлявшихся факторов.

Оценки минимальных уровней смертности от заболеваний, связанных с загрязнением воздуха в Карелии, находятся в рамках мировых оценок ВОЗ по смертности от воздействия всех экологических факторов. Гипотетический потенциал сокращения смертности населения республики за счет уменьшения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на конец 2012 года составлял 32,9 % от общего числа умерших в этом году.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гичев Ю. П. Загрязнение окружающей среды и здоровье человека. (Печальный опыт России). Новосибирск: СО РАМН, 2002. 230 с.
2. Гичев Ю. П. Здоровье человека и окружающая среда: SOS! М., 2007. 186 с.
3. Молчанова Е. В. Оценка региональных медико-эколого-экономических процессов // Экономика российских регионов: Материалы II Молодежного экономического форума, 12–13 ноября 2009 года, г. Петрозаводск. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. С. 123–130.

Rybakov D. S., Institute of Geology, Karelian Research Center of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

POLLUTANT EMISSIONS AS REGIONAL FACTOR OF MORTALITY RATE CHANGE

A strong linear statistical correlation between decreasing pollutant emission from subjects of economic activity (production of pulp, paper, cardboard, and goods made from them) and mortality from cardiovascular diseases was revealed. Manufecturing industries, located on the territory of the Republic, significantly contribute to the reduction of regional emissions. Statistical correlation of this index with the amount of pollutant emissions from other manufacturing industries (except aluminum) is best described by the power-law dependence equation. Abrupt increase in mortality from neoplasms in 2008 is conditioned by the sharp increase in emissions from motor transport in 2006 (two-year lag availability). In addition, deterioration of demographic indices is statistically associated with the increase of pollutant emissions from existing ore mining and processing industries. Minimum estimate of the number of deaths due to air pollution for the period of 2002–2012 amounted to 10,5 % from the total number of deaths in Republic of Karelia. In 2012 the death rate from pollutant emissions amounted to 5,1 % from the total number of deaths. If pollutant emissions are terminated, hypothetical reduction of deaths caused by pollutant emmissions may be reduced by 32,9 % from the total number of deaths in 2012.

Key words: emissions, economic activities, mortality coefficients, major causes of death

REFERENCES

1. Gichev Yu. P. *Zagryaznenie okruzhayushchey sredy i zdorov'e cheloveka. (Pechal'nyy opyt Rossii)* [Pollution of the environment and human health. (The sad experience of Russia)]. Novosibirsk, SB RAMS Publ., 2002. 230 p.
2. Gichev Yu. P. *Zdorov'e cheloveka i okruzhayushchaya sreda: SOS!* [Human Health and the Environment: SOS!]. Moscow, 2007. 186 p.
3. Molchanova E. V. Assessment of regional health-ecological-economic processes [Otsenka regional'nykh mediko-ekologo-ekonomicheskikh protsessov]. *Ekonomika rossiyskikh regionov: Materialy II Molodezhnogo ekonomicheskogo foruma, 12–13 noyabrya 2009 goda, g. Petrozavodsk* [Economy of Russian Regions: Proceedings of the II Youth Economic Forum, 12–13 November 2009, Petrozavodsk]. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS Publ., 2010. P. 123–130.

Поступила в редакцию 30.01.2013

Март, № 2 **Сельскохозяйственные науки** **2014**

УДК 630*165

АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ ЦАРЕВ
доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесного хозяйства лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
antsa_55@yahoo.com

ПРОГРАММЫ ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ: ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ (ОБЗОР)*

Приведен краткий анализ селекционных программ европейских (Швеция, Финляндия, Польша) и североамериканских (США, Канада) стран. Наибольший интерес для нашей страны представляет шведский опыт, который и рассмотрен более подробно в настоящей работе. Шведские программы включали отбор плюсовых деревьев, полевое испытание их потомства, проведение гибридизации среди лучших растений, создание в каждом лесосеменном районе специализированных селекционных популяций, состоящих из 50 лучших деревьев. Потомство этих популяций используется для дальнейшей селекции и создания лесосеменных плантаций. В последнее десятилетие в Швеции разработано 7 альтернативных стратегий селекции, краткие сведения о которых представлены в данной работе. Показано, что в свое время в нашей стране были предприняты разработки программ селекции и семеноводства. Для получения практически важных для нашего лесного хозяйства результатов и предотвращения негативных последствий от упущений последних лет необходимо создание новых программ. Они должны включать: разработку идеала сорта или селекционно улучшенного материала; подбор существующих или разработку новых методов селекции; изучение, коллекционирование и сохранение исходного материала для селекции; получение сортового или селекционно улучшенного материала; сортоиспытание и районирование наиболее ценных культиваров, сортов и клонов; использование перспективных методов размножения и др. При их разработке необходимо учитывать особенности лесных древесных растений, природные и экономические условия регионов и перспективы их развития.

Ключевые слова: программы лесной селекции, сохранение генетических ресурсов, плюсовые деревья, репродукция, лесосеменные плантации

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность селекции той или иной культуры во многом зависит от четкого представления цели, то есть конечных результатов работы, а также путей и возможности ее достижения. Первоначально такие подходы были разработаны в селекции сельскохозяйственных растений, включая плодовые [2]. Затем эти идеи стали проникать и в лесное хозяйство. В последней четверти XX и начале XXI века в мире было создано множество программ и программных подходов для отдельных лесных видов. Среди них можно отметить некоторые приоритетные программы селекции сосны обыкновенной, ели европейской и сосны скрученной [35]; ели [24]; сосны скрученной [22]; лиственных пород [34]; тополя [14], [32] и др.

Цель настоящей публикации заключается в кратком рассмотрении международного и отечественного опыта разработки программ лесной селекции, которые имеют практическое значение для искусственного лесовосстановления.

ШВЕДСКИЙ ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММ ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Одной из первых стран, где были разработаны программы селекции для некоторых древесных видов, была Швеция. Селекционные работы с древесными видами на плановой основе начаты в этой стране с 1936 года. Здесь были разработаны программы для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), ели европейской (*Picea abies*), сосны скрученной (*Pinus contorta*) и березы повислой (*Betula pendula*). Кроме того, хоть и в более ограниченных масштабах, программные подходы применялись также при селекции межвидовых гибридов осины (*Populus tremula x Populus tremuloides*), дуба (*Quercus*), лиственницы (*Larix*), ели черной (*Picea mariana*) и других местных и экзотических древесных пород.

Обстоятельный обзор работ по состоянию программ лесной селекции в Швеции к началу 90-х годов XX века произвел Ö. Danell [20]. Некоторые уточнения и сведения были представлены в работах других авторов [18], [28], [31]. Поскольку наше лесное хозяйство еще далеко от достижений селекции Швеции, то имеет смысл изложить как можно полнее эти результаты в надежде, что определенные аспекты данных подходов могут пригодиться в нашей практике.

В своей работе Ö. Danell приводит схему долговременной программы лесной селекции,

© Царев А. П., 2014

Рис. 1. Схема лесной селекции в Швеции к началу 1990-х годов (Ö. Danell, 1991)

которая существовала в то время. В этой схеме он показывает, что первоначальным источником селекционно улучшенного репродуктивного материала известного происхождения являются плюсовые деревья, отобранные в естественных древостоях. Из их черенков создавались лесные семенные плантации (рис. 1).

Параллельно с этим создавалось значительное количество испытательных насаждений, включающее около 1000 опытных участков по всей стране, результаты которых предполагалось использовать в рекуррентной селекции в течение многих поколений.

На схеме (см. рис. 1) показано, что селекционные работы начинались с отбора плюсовых деревьев. Из этих плюсовых деревьев создавались лесосеменные плантации (ЛСП), которые получили название ЛСП-I, или лесосеменные плантации первого поколения. Параллельно из семян плюсовых деревьев создавались испытательные культуры. После оценки тестирования черенки от лучших деревьев шли на создание лесосеменных плантаций второго поколения (ЛСП-II). А между деревьями проводилось скрещивание для получения нового поколения, которое тоже проходило полевое тестирование. От лучших вариантов получали семена и вегетативный материал.

К началу 1990-х годов в Швеции за несколько десятилетий было отобрано для 4 основных пород следующее количество плюсовых деревьев и перспективных клонов: *Pinus sylvestris* – 6800 плюсовых деревьев; *Picea abies* – 5600 плюсовых деревьев + ~13000 клонов; *Pinus contorta* – 200 плюсовых деревьев + 1200 семей; *Betula spp.*– 1450 плюсовых деревьев. В каждом лесосеменном районе Швеции испытывалось по 600 плюсовых деревьев той или иной породы. В результате испытания отбиралось по 50 лучших плюсовых деревьев, которые использовались в дальнейшей селекции и для создания ЛСП следующего поколения.

Двадцать лет спустя после публикации Ö. Danell [20] группа шведских исследователей представила новый обзор по шведским программам лесной селекции, включающий новые подходы в этом направлении [27]. В данных подходах основной упор сделан на повышении продуктивности насаждений с сохранением или, по крайней мере, управлением генетическим разнообразием. Специальными целями было повышение устойчивости/толерантности и пластичности/адаптивности улучшенных деревьев к меняющимся условиям среды. Программы конца XX и начала XXI века можно назвать программами второго комплекса.

Программы XXI века базируются на совокупности альтернативных стратегий селекции. Такие стратегии детально разработаны в основном для сосны обыкновенной и частично ели европейской [30].

Стратегия 1 (основная). Обратный отбор кандидатов сеянцев (***Seedling candidates backward-basic***)**.** Создание тестов поликроссного потомства из архивных полносибсовых сеянцев после естественного созревания генеративных органов для обратного отбора селекционных популяций из 50 представителей.

Стратегия 2 (интенсивная). Обратный отбор кандидатов сеянцев (***Seedling candidates backward-intense***)**.** Создание тестов поликроссного потомства из архивных полносибсовых сеянцев при интенсивном управлении и использовании стимуляции цветения, чтобы ускорить скрещивание. В этом случае также применяется обратный отбор 50 представителей для создания селекционных популяций.

Обе эти стратегии (1 и 2) являются текущими шведскими программами селекции сосны обыкновенной. Они начинаются с посадки селекционных архивов полносибсового потомства F_1 от текущих селекционных популяций. Архивы доводятся до цветения, чтобы получить потомство F_2 от полимиксного опыления, которое подвергается тестированию. Затем производится обратный отбор финальных селекционных популяций F_1, состоящих из 50 представителей. Этот размер считается стандартным для селекционных популяций. В стратегии 2 ускорение цветения осуществляется за счет прививки и стимуляции цветения с целью уменьшения продолжительности цикла.

Стратегия 3. Полевой последующий отбор (Field forward). Селекционная популяция F_1 из 50 деревьев отбирается прямо внутри семей при последующем отборе в полевых экспериментах F_1. Отобранные деревья скрещиваются, чтобы получить новое поколение, которое высаживается в новых полевых экспериментах.

Стратегия 4. Полевые кандидаты обратного отбора (Field candidates backward). Создаются полносибсовые популяции F_1. Из них от-

бираются кандидаты внутри семей, потомство которых, полученное при свободном или контролируемом полимиксном опылении, испытывается в полевых опытах. Затем производится обратный отбор финальной селекционной популяции F_1, состоящей из 50 представителей.

Стратегия 5. Последующее спаривание полевых кандидатов (Field candidates pair-wise forward). Создание испытательных насаждений полносибсовых семейств, чтобы впоследствии отобрать кандидатов для парных скрещиваний в селекционных популяциях увеличенного размера. Здесь можно использовать как межсемейный, так и внутрисемейный отбор. Эта стратегия может осуществляться различными путями.

Стратегия 6. Полимиксные полевые кандидаты последующего отбора (Field candidates polymix forward). Испытания созданных поликроссных семей с отбором отцов, чтобы последующим отбором определить кандидаты деревьев в селекционную популяцию увеличенного размера, в которой производился бы как межсемейный, так и внутрисемейный отбор по методу патернального анализа. Данная стратегия также может быть применима во многих других случаях.

Стратегия 7. Кандидаты сеянцев для клонового последующего отбора. Создание опытов клонально размножаемых полносибсовых семей для последующего отбора селекционных популяций из 50 деревьев. Реализация стратегии начинается с клонирования полносибсовых потомков F_1, чтобы создать коллекционную популяцию для последующего отбора. Внутри каждой семьи отбираются лучшие клоны для создания селекционной популяции из 50 деревьев.

В пределах этой стратегии выделяются стратегии ***a*** и ***b***. В стратегии ***b*** создаются селекционные архивы для нарезки черенков и сбора пыльцы. В стратегии ***a*** дополнительных архивов не создается, а необходимый материал берется непосредственно из имеющихся опытных объектов.

В отличие от стратегий 1 и 2, которые являются вариантами текущих программ селекции сосны обыкновенной, стратегия 3 представляет альтернативную программу для этой породы. Стратегия 7***b*** является текущей программой селекции ели европейской. Все текущие программы начинаются с отбора сеянцев в питомнике, в то время как все альтернативные программы (3, 4, 5 и 6) начинаются с отбора избыточного количества деревьев-кандидатов в полевых испытаниях. Реализация стратегий показана на рис. 2.

В целом исследования O. Rosvall [29] показали, что к концу XX века в результате увеличения потенциального генетического выигрыша в новых насаждениях, использующих сеянцы из современных ЛСП, производство древесины на единицу площади может увеличиться на 10%.

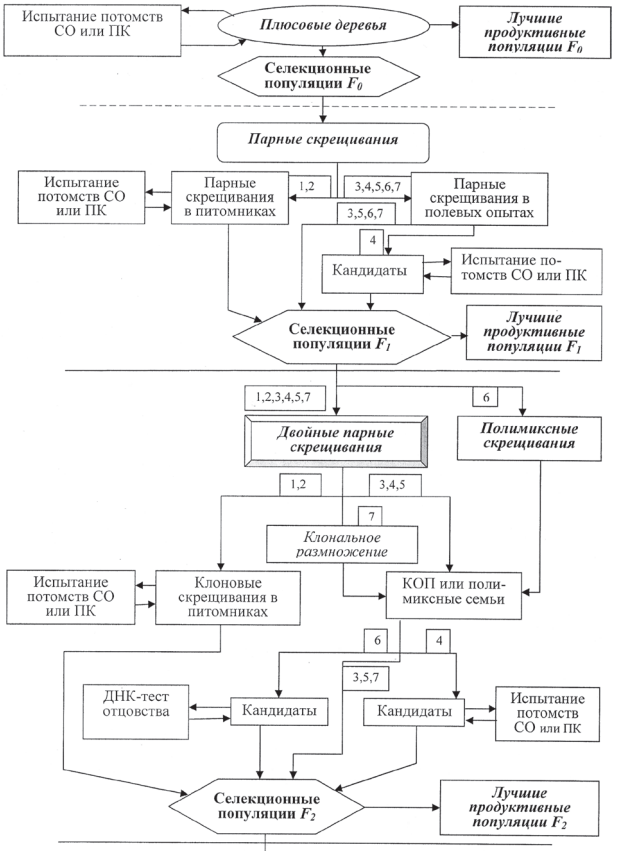


Рис. 2. Схема реализации шведских стратегий лесной селекции (O. Rosvall, C. Almqvist, D. Lindgren, T. Mullin, 2011). СО – свободное опыление; ПК – поликросс; КОП – контролированное опыление отдельных пар

ПРОГРАММЫ ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ В НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ СТРАНАХ

Программы селекции и сохранения генетических ресурсов были также разработаны в Финляндии [23], Польше [25] и других странах Европы. Известны программы генетического улучшения деревьев в ряде провинций Канады: Квебек, Онтарио и Британской Колумбии [21], [26], [33]. В США также разработаны программы лесной селекции для отдельных штатов: Висконсин, Техас и др. [19], [36] и др. Подобные программы, финансируемые государствами, имеются и в других развитых странах.

ПРОГРАММЫ ЛЕСНОЙ СЕЛЕКЦИИ В РОССИИ

Ряд программ был предпринят и в нашей стране: создание географических культур, выделение ценного генофонда и сохранение генетических ресурсов лесных древесных пород, закладка испытательных культур, создание сети сортоиспытания лесных древесных растений, получения новых гибридов и сортов и др. [4], [6], [7], [9], [13], [16] и др. Предложенная автором программа селекции лесных древесных растений представлена на рис. 3.

Рис. 3. Схема программы селекции лесных древесных растений, их испытания и использования

К сожалению, в последние 20 лет лесное хозяйство, как и множество других отраслей производства страны, пришло в упадок, что неоднократно отмечали отечественные исследователи [8], [10], [17] и др. Большинство селекционных работ с лесными древесными растениями также или прекратили свое существование, или были свернуты до минимального уровня. Продолжение работ осуществлялось лишь отдельными энтузиастами [1], [3], [4], [5], [11] и др.

В целом в стране было отобрано более 35 тыс. экз. плюсовых деревьев, из которых создавались ЛСП первого порядка. Это во много раз меньше на единицу лесопокрытой площади, чем в других северных многолесных странах [15]. Но ведь в большинстве регионов дальнейшее развитие селекции на этом и остановилось.

Эти деревья в подавляющем большинстве не прошли генетическую оценку. Поэтому у нас практически нет ЛСП второго порядка. При общей площади ЛСП в стране, по данным ФБУ «Рослесозащита» на 1 января 2012 года, в 6239 га площадь ЛСП повышенной генетической ценности составляет 131 га, то есть 2,1 %.

Учитывая, что среди отобранных плюсовых деревьев в ряде экспериментов только немногие из них подтвердили свою высокую генетическую ценность [3], требуется дальнейшая генетическая оценка существующих и отбор новых плюсовых деревьев. Еще раз следует отметить, что в Швеции для каждого лесосеменного района отбиралось по 600 плюсовых деревьев, из которых для создания селекционных популяций было выбрано по 50 лучших деревьев. Нам также необходимо учитывать опыт других стран, расширять отбор ценных деревьев и переходить на новые уровни лесной селекции. В противном случае при существующем состоянии лесосеменной базы страна рискует остаться не только без улучшенного репродуктивного материала, но и вообще без какого-либо районированного лесосеменного материала [5].

Понятно, что в нашем запущенном лесном хозяйстве есть масса других кричащих проблем, характерных для стран с проблемной экономикой: пожары, нелегальные рубки, отсутствие уходов в лесных культурах, несоблюдение системы рубок ухода, заниженная попенная плата, сокращение лесоустроительных работ, недостаток кадров и отсутствие условий для их нормальной работы, что обусловливает нежелание выпускников вузов работать в лесу и др.

Но есть и другие проблемы, которые не так бросаются в глаза, однако их игнорирование катастрофически скажется в будущем: пренебрежение сохранением генофонда лесных древесных растений, разрушение лесосеменной базы, нарушение районированных семязаготовок, прекращение планового выделения ценного генофонда, ликвидация селекционно-семеноводческих центров, свертывание работ по лесной селекции в целом и т. п.

России принадлежит одна пятая часть лесопокрытой площади мира. Наши леса – один из мощных экономических рычагов страны. Пока. Но без планирования их будущего мы можем лишиться этого богатства. И очень быстро.

ВЫВОДЫ

– Для получения практически важных для лесного хозяйства результатов необходима разработка селекционных программ, как для отдельных лесных древесных растений, так и для их совокупности. Если учитывать огромные территории нашей страны, такие программы должны разрабатываться как по отдельным регионам, так и по стране в целом.

– Они должны включать: разработку идеала сорта или селекционно улучшенного материала; подбор существующих или разработку новых методов селекции; изучение, коллекционирование и сохранение исходного материала для селекции; получение сортового или селекционно улучшенного материала для нужд регионов и создания специализированных плантаций различного целевого назначения; полевые испытания; сортоиспытание и районирование наиболее ценных селектантов; использование перспективных методов размножения и другие положения, учитывающие особенности используемых лесных древесных растений, природные и экономические условия регионов и перспективы их развития.

– Наиболее успешный опыт предварительного планирования селекции лесных древесных растений накоплен к настоящему времени в Швеции, а также в некоторых других зарубежных

странах. В Швеции, в частности, предлагается 7 альтернативных программ селекции, часть из которых могут быть использованы и у нас.

– В нашей стране известны программы создания географических насаждений, сохранения генофонда, отбора хозяйственно ценных форм в результате плюсовой селекции и создания новых гибридов отдельных древесных видов, программа развития лесного селекционного семеноводства и др.

– К сожалению, в последние годы из-за непрерывных реорганизаций, которые отрицательно сказались на развитии лесного комплекса страны, селекция лесных древесных растений оказалась маловостребованной нашим лесным хозяйством, что в будущем может привести к тяжелым последствиям.

– Для предотвращения негативных последствий необходима целостная стратегия развития лесного хозяйства страны, которая была бы направлена не только на как можно большее изъятие древесины из лесов, но и их восстановление на основе улучшенного генетико-селекционного потенциала.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессчетнов В. П., Бессчетнова Н. Н. Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа // Лесной журнал. 2012. № 2 (326). С. 58–64.
2. Вавилов Н. И. Селекция как наука // Теоретические основы селекции. М.: Наука, 1987. С. 28–68.
3. Видякин А. И. Эффективность плюсовой селекции древесных растений // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII. № 1–2. С. 18–24.
4. Ирошников А. И., Мамаев С. А., Махнев А. К. и др. Положение о выделении и сохранении генетического фонда древесных пород в лесах России. М.: Федеральная служба лесного хозяйства, 1997. 35 с.
5. Лаур Н. В. Лесная селекция и семеноводство в Карелии. М.: Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2012. 160 с.
6. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
7. Методика государственного сортоиспытания лесных пород (общая часть). М.: Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства СССР, 1981. 44 с.
8. Моисеев Н. А. Лесная наука и практика в историческом аспекте: состояние и перспективы на примере России // Леса Евразии – Подмосковные вечера: Материалы X Международной конференции молодых ученых. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. С. 17–30.
9. Муратова Е. Н., Милютин Л. И. Международное совещание по сохранению лесных генетических ресурсов Сибири. Россия, Красноярск, 23–29 августа 2011 // Лесоведение. 2012. № 4. С. 70–75.
10. Писаренко А. И., Страхов В. В. Лесное хозяйство России: национальное и глобальное значение. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2011. 600 с.
11. Раевский Б. В., Щурова М. Л. Сохранение и использование лесных генетических ресурсов хвойных лесообразующих видов в Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2012. № 8 (129). Т. 1. С. 61–64.
12. Тараканов В. В., Демиденко В. П., Ишутин Я. Н., Бушков Н. Т. Селекционное семеноводство сосны обыкновенной в Сибири. Новосибирск: Наука, 2001. 205 с.
13. Царев А. П. Программы лесной селекции в России и за рубежом. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. 164 с.
14. Царев А. П. Селекционные программы улучшения тополей // Лесоведение. 1988. № 6. С. 64–71.
15. Царев А. П., Лаур Н. В. Перспективные направления селекции и репродукции лесных древесных растений // Лесной журнал. 2013. № 2 (332). С. 36–44.
16. Царев А. П., Погиба С. П., Тренин В. В. Селекция и репродукция лесных древесных пород: Учебник / Под ред. А. П. Царева. М.: Логос, 2001–2003. 520 с.
17. Царев В. А. Современные проблемы лесоуправления в Российской Федерации // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2012. № 8 (129). Т. 1. С. 65–67.
18. Breeding Programs in Sweden. Arbetsrapport № 302, Uppsala: Scog Forsk, 1995. 25 p.
19. Byram T. D., Miller L. G., Raley E. M. Fifty-fifth progress report of the cooperative forest tree improvement program. Annual report. Texas Forest Service a Member of The Texas A&M University System An Equal Opportunity Employer, December 2009. Available at: http://texasforestservice.tamu.edu/uploadedFiles/FRD/Genetics/2009_WGFTIP_Annual_Report.pdf
20. Danell Ö. Survey of past, current and future Swedish forest tree breeding // Silva Fennica. 1991. Vol. 25. № 4. P. 241–247.
21. Douglas D., Woods J., Thomas K. Tree Improvement Program Project Report 2008–2009. Forest Genetics Council of British Columbia, Canada. 2010. 67 p. Available at: http://www.fgcouncil.bc.ca/TIPProjReport-2008–09–20Jul2010.pdf
22. Ericsson T. Lodgepole pine (*Pinus contorta var. latifolia*) breeding in Sweden – results and prospects based on early evaluations. Dissertation Swedish University of Agricultural Sciences. Umea, 1994. 94 p.
23. FAO State of the Forest Genetic Resources in Finland 2011. Ministry of Agriculture and Forestry & Finnish Forest Research Institute (METLA), 2012. № 1. 32 p.
24. Karlsson B., Rosvall O. Norway spruce // Breeding Programs in Sweden. Arbetsrapport № 302. Uppsala: Scog Forsk, 1995. P. 16–21.
25. Matras J. Preliminary Assumption to “The Program of Forest Gene Resources Conservation and Breeding of Forest Tree Species in Poland in the years 2010–2035” // Status, Monitoring and Targets for Breeding Programs / Proceedings of the Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists, September 13–15. 2005. Syktyvkar, Russia. P. 85–89.
26. New Second Generation Breeding Programs. Ontario-Canada: Forest Ecosystem Science Cooperative Inc. – Forest Genetics Ontario / Final report. Living Legacy Trust (LLT Project № 04-013). April 22, 2004. 13 p. Available at: www.forestco-op.ca/files/fgo_final_report.pdf
27. Review of the Swedish tree breeding programmes. Upsala, Sweden: Skogforsk, 2011. 84 p.
28. Rosvall O. Enhancing Gain from Long-Term Forest Tree Breeding while Conserving Genetics Diversity / Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. Umea, 1999. 65 p.

29. R o s v a l l O. The economic value of tree improvement // Review of the Swedish tree breeding programmes. Upsala, Sweden: Skogforsk, 2011. P. 13–14.
30. R o s v a l l O., A l m q v i s t C., L i n d g r e n D., M u l l i n T. Breeding strategies // Review of the Swedish tree breeding programmes. Upsala, Sweden: Skogforsk, 2011. P. 55–66.
31. S t e n e r L.-G. Results from tests of *Betula pendula* and its impact on future breeding in southern Sweden // Status, Monitoring and targets for breeding programs / Proceeding of the meeting of Nordic tree breeders and forest geneticists, September 13–15, 2005. Syktyvkar, Russia, 2005. P. 73–78.
32. Teissier du Cros E. Breeding strategies with poplars in Europe // Forest Ecology and Management. 1984. № 8. P. 23–39.
33. Tree Improvement in Québec: A Tool for Industrial and Environmental Productivity Research Note Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003, by the Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec September 2003. Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch). 15 p. Available at: http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/beaudoin-roger/CFM-Note127.pdf
34. W e r n e r M. Breeding broad-leaved tree species in Sweden // Breeding Programs in Sweden. Arbetsrapport № 302. Uppsala: Scog Forsk, 1995. P. 22–25.
35. W e r n e r M., H a d d e r s G., R o s v a l l O. Breeding programs for Scots pine, Norway spruce and Lodgepole pine // Forestry Abstr. 1982. Vol. 43. № 2. P. 120.
36. Wisconsin Department of Natural Resources Forest Genetics Program: Strategic Plan 2009–2019. 42 p. Available at: http://dnr.wi.gov/topic/TreePlanting/treeImprovement.html

---

Tsarev A. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

PROGRAMS OF FOREST TREE BREEDING: FOREIGN AND HOME EXPERIENCE (REVIEW)

A short analysis of breeding programs for European (Sweden, Finland, and Poland) and North American (the USA, Canada) countries is provided. Due to special importance of Swedish experience for our country its practice and results are considered in details. Swedish programs included selection of plus trees, field tests of their posterity, hybridization of the best plants, and a set up of per forest seed regions with specialized breeding population consisting of the 50 best trees. The posterity of these population is used for further selection and set up of forest seed orchards. In the last decade, Sweden developed 7 alternative strategies of breeding. A short summary on the mentioned strategies is provided. It is shown that in our country, some time ago the works on the breeding programs' development and seed production were undertaken. Contemporary development of new programs is necessary to secure high practical results for our forestry. New programs will also help to prevent negative consequences induced by negligence of the last years. They have to include: development of cultivar ideal or improved material; selection of existing or development of new breeding methods; study, collection, and conservation of initial materials for breeding; production of high quality or improved material; cultivar testing and distribution into districts of the most valuable breeding materials; use of perspective reproduction methods, etc. The process of cultivation requires consideration of characteristic features inherent to forest tree species, natural and economic conditions of the regions, and prospects of their development.

Key words: programs of forest tree breeding, conservation of genetic resource, plus trees, breeding populations, reproduction, forest seed orchards

REFERENCES

1. B e s s c h e t n o v V. P., B e s s c h e t n o v a N. N. Selection assessment of Scotch pine plus trees by multidimensional analysis methods [Selectsionnaya otsenka plusovykh derev'yev sosny obyknovennoy metodami mnogomernogo analiza]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal (News of High schools)]. 2012. № 2 (326). P. 58–64.
2. V a v i l o v N. I. Breeding as science [Selektsia kak nauka]. *Theoreticheskiye osnovy selektsii* [Theoretical bases of plant breeding]. Moscow, Nauka Publ., 1987. P. 28–68.
3. V i d y a k i n A. I. Effectiveness of forest trees plus breeding [Effektivnost' plusovoy selectsii drevesnykh rasteniy]. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Coniferous of boreal zone]. 2010. Vol. XXVII. № 1–2. P. 18–24.
4. I r o s h n i k o v A. I., M a m a y e v S. A., M a k h n e v A. K. i dr. *Polozheniye o vydelenii i sokhranenii geneticheskogo fonda drevesnykh porod v lesakh Rossii* [Regulations of the allocation and conservation of tree species genetic resources in Russian forests]. Moscow, Federal Forestry service, 1997. 35 p.
5. L a u r N. V. *Lesnaya selectsiya i semenovodstvo v Karelii* [Forest tree breeding and seed production in Karelia]. Moscow, Publishing House of the Moscow Forest State University, 2012. 160 p.
6. *Lesosemennoye rayonirovaniye osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v SSSR* [Forest seeds zoning of the basic forest tree species in the USSR]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 368 p.
7. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya lesnykh porod (obshchaya chast')* [The methods of the State forest tree cultivars' testing (General part)]. Moscow, Gosudarstvennaya komissiya po sortoispytaniyu sel'skokhozyaystvennykh kul'tur pri Ministerstve sel'skogo khozyaystva SSSR, 1981. 44 p.
8. M o i s e y e v N. A. Forest science and practice in history aspect: state and perspective on the example of Russia [Lesnaya nauka i praktika v istoricheskom aspekte: sostoyaniye i perspectivy na primere Rossii]. *Materialy 10 Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh "Lesa Evrazii – Podmoskovnyye vechera"* [Proc. 10th Int. Conference of young scientists "Eurasian forests – Podmoscowny vechera"]. Moscow, Moscow State Forest University Edition, 2010. P. 17–30.
9. M u r a t o v a E. N., M i l y u t i n L. I. International Conference on Conservation of forest genetic resources in Siberian. Russia, Krasnoyarsk. August 23–29, 2011 [Mezhdunarodnoye soveshchaniye po sokhraneniyu lesnykh geneticheskikh resursov Sibiri. Rossiya, Krasnoyarsk, 23–29 avgusta 2011]. *Lesovedeniye* [Forest Science]. 2012. № 4. P. 70–75.
10. P i s a r e n k o A. I., S t r a k h o v V. V. *Lesnoye khozyaystvo Rossii: natsional'noye i global'noye znacheniye* [Forestry of Russia: national and global significance]. Moscow, Moscow State Forest University Edition, 2011. 600 p.
11. R a y e v s k i y B. V., S h c h u r o v a M. L. Conservation and management of forest genetic resources of coniferous forest forming species in Karelia [Sokhraneniye i ispol'zovaniye lesnykh geneticheskikh resursov khvoynykh lesoobrazuyushchikh vidov v Karelii]. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceeding of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2012. № 8 (129). Vol. 1. P. 61–64.

12. Tarakanov V. V., Demidenko V. P., Ishutin Ya. N., Bushkov N. T. *Selektsionnoye semenovodstvo sosny obyknovennoy v Sibiri* [The Scotch pine seed-growing selection in Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2001. 205 p.
13. Tsarev A. P. *Programmy lesnoy selektsii v Rossii i za rubezhom* [Programs of forest tree breeding in Russia and abroad]. Moscow, Moscow State Forest University Edition, 2013. 164 p.
14. Tsarev A. P. Breeding programmes of poplar improvement [Selektsionnyye programmy uluchsheniya topoley]. *Lesovedeniye* [Forest Science]. 1988. № 6. P. 64–71.
15. Tsarev A. P., Laur N. V. Perspective directions of forest tree breeding and reproduction [Perspektivnyye napravleniya selektsii i reproduktsii lesnykh drevesnykh rasteniy]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal]. 2013. № 2 (332). P. 36–44.
16. Tsarev A. P., Pogiba S. P., Trenin V. V. *Selektsiya i reproduktsiya lesnykh drevesnykh porod: Uchebnik / Pod red. A. P. Tsareva* [Breeding and reproduction of forest tree species: text-book / Edited by A. P. Tsarev]. Moscow, Logos Publ., 2001–2003. 520 p.
17. Tsarev V. A. Modern forest management problems in Russian Federation [Sovremennyye problemy lesoupravleniya v Rossiyskoy Federatsii]. *Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceeding of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2012. № 8 (129). Vol. 1. P. 65–67.
18. Breeding Programs in Sweden. Arbetsrapport № 302, Uppsala: Scog Forsk, 1995. 25 p.
19. Byram T. D., Miller L. G., Raley E. M. Fifty-fifth progress report of the cooperative forest tree improvement program. Annual report. Texas Forest Service a Member of The Texas A&M University System An Equal Opportunity Employer, December 2009. Available at: http://texasforestservice.tamu.edu/uploadedFiles/FRD/Genetics/2009_WGFTIP_Annual_Report.pdf
20. Danell Ö. Survey of past, current and future Swedish forest tree breeding // Silva Fennica. 1991. Vol. 25. № 4. P. 241–247.
21. Douglas D., Woods J., Thomas K. Tree Improvement Program Project Report 2008–2009. Forest Genetics Council of British Columbia, Canada. 2010. 67 p. Available at: http://www.fgcouncil.bc.ca/TIPProjReport-2008–09–20Jul2010.pdf
22. Ericsson T. Lodgepole pine (*Pinus contorta var. latifolia*) breeding in Sweden – results and prospects based on early evaluations. Dissertation Swedish University of Agricultural Sciences. Umea, 1994. 94 p.
23. FAO State of the Forest Genetic Resources in Finland 2011. Ministry of Agriculture and Forestry & Finnish Forest Research Institute (METLA), 2012. № 1. 32 p.
24. Karlsson B., Rosvall O. Norway spruce // Breeding Programs in Sweden. Arbetsrapport № 302. Uppsala: Scog Forsk, 1995. P. 16–21.
25. Matras J. Preliminary Assumption to "The Program of Forest Gene Resources Conservation and Breeding of Forest Tree Species in Poland in the years 2010–2035" // Status, Monitoring and Targets for Breeding Programs / Proceedings of the Meeting of Nordic Tree Breeders and Forest Geneticists, September 13–15. 2005. Syktyvkar, Russia. P. 85–89.
26. New Second Generation Breeding Programs. Ontario-Canada: Forest Ecosystem Science Cooperative Inc. – Forest Genetics Ontario / Final report. Living Legacy Trust (LLT Project № 04-013). April 22, 2004. 13 p. Available at: www.forestco-op.ca/files/fgo_final_report.pdf
27. Review of the Swedish tree breeding programmes. Upsala, Sweden: Skogforsk, 2011. 84 p.
28. Rosvall O. Enhancing Gain from Long-Term Forest Tree Breeding while Conserving Genetics Diversity / Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences. Umea, 1999. 65 p.
29. Rosvall O. The economic value of tree improvement // Review of the Swedish tree breeding programmes. Upsala, Sweden: Skogforsk, 2011. P. 13–14.
30. Rosvall O., Almqvist C., Lindgren D., Mullin T. Breeding strategies // Review of the Swedish tree breeding programmes. Upsala, Sweden: Skogforsk, 2011. P. 55–66.
31. Stener L.-G. Results from tests of *Betula pendula* and its impact on future breeding in southern Sweden // Status, Monitoring and targets for breeding programs / Proceeding of the meeting of Nordic tree breeders and forest geneticists, September 13–15, 2005. Syktyvkar, Russia, 2005. P. 73–78.
32. Teissier du Cros E. Breeding strategies with poplars in Europe // Forest Ecology and Management. 1984. № 8. P. 23–39.
33. Tree Improvement in Québec: A Tool for Industrial and Environmental Productivity Research Note Tabled at the XII World Forestry Congress – Québec, Canada 2003, by the Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec September 2003. Direction de la recherche forestière (Forest Research Branch). 15 p. Available at: http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/beaudoin-roger/CFM-Note127.pdf
34. Werner M. Breeding broad-leaved tree species in Sweden // Breeding Programs in Sweden. Arbetsrapport № 302. Uppsala: Scog Forsk, 1995. P. 22–25.
35. Werner M., Hadders G., Rosvall O. Breeding programs for Scots pine, Norway spruce and Lodgepole pine // Forestry Abstr. 1982. Vol. 43. № 2. P. 120.
36. Wisconsin Department of Natural Resources Forest Genetics Program: Strategic Plan 2009–2019. 42 p. Available at: http://dnr.wi.gov/topic/TreePlanting/treeImprovement.html

Поступила в редакцию 29.11.2013

Март, № 2 **Сельскохозяйственные науки** **2014**

УДК 332.3:633.81

ЕЛЕНА ВЯЧЕСЛАВОВНА ЧЕРКАШИНА
кандидат экономических наук, доцент, зам. директора Института повышения квалификации «Информкадастр», Государственный университет по землеустройству (Москва, Российская Федерация)
cherkashina@infokad.ru

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭФИРОМАСЛИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РОССИИ

На основе обзора рынка эфирных масел и их производных, стран-производителей и поставщиков эфирных масел подчеркивается потребность страны в этом продукте. Дан анализ экспорта и импорта эфирных масел и душистых смесей за 2004–2012 годы. Вследствие спроса на эфирные масла и их производные установлен примерный объем потребности страны в эфирном масле, на основе чего делается вывод об актуальности решения задачи возобновления и развития эфиромасличного производства в России. Предлагается перечень эфиромасличных культур по зонам возделывания на территории страны, рассматриваются вопросы определения необходимого количества перерабатывающих заводов и формирования их сырьевых зон, приводится формула расчета размера сырьевой зоны. Даны рекомендации по расстоянию от плантаций и посевов различных групп возделываемых эфироносов до перерабатывающих заводов (пунктов). Ставятся задачи решения ряда проблем, связанных с развитием эфиромасличного производства в России.

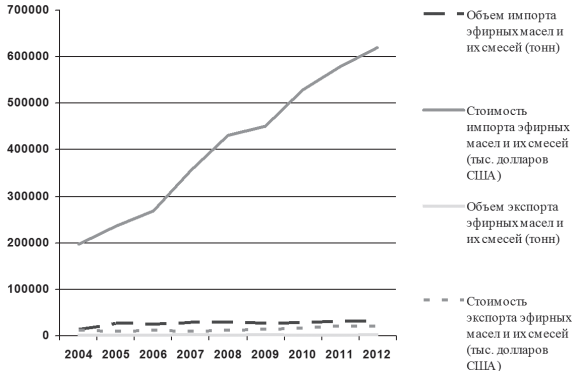
Ключевые слова: эфиромасличное производство, сырьевые зоны перерабатывающих заводов, землеустройство

В настоящее время сложился устойчивый рынок эфирных масел и стабильный спрос на эту продукцию, которая используется в производстве фармацевтической продукции, пищевых продуктов, парфюмерных и косметических средств, других видов экономической деятельности. Стоимость эфирного масла на мировом рынке, в зависимости от его вида, составляет от 30 до 4500 долларов США за 1 кг. Объектом международной торговли являются около 200 видов эфирных масел, объемы продаж колеблются от нескольких килограммов до 30 тыс. т и более. Основной объем производства находится в странах Америки – 40 %, Азии – 30 %, Европы – 25 %. К оптовым покупателям этой продукции относятся США, ФРГ, Великобритания и Япония.

Потребности экономики России в эфиромасличном сырье на сегодняшний момент сложно определить, поскольку никто не может дать статистически достоверную информацию и характеристику процесса формирования рынка эфиромасличного сырья. По подсчетам различных специалистов, потребность в эфирном масле в стране составляет от 4000 до 6000 т, рост которой с каждым годом возрастает, что обусловливается все большим количеством потребителей сырья.

В настоящее время возделывание эфиромасличных культур в стране ведется на небольших площадях, не удовлетворяя потребностям страны в получении сырья, переработка осуществляется в небольших объемах, в основном с целью экспорта. Соотношение экспорта и импорта эфирных масел и смесей душистых веществ, используемых в парфюмерии, за период 2004–2012 годов показано на рисунке.

Картина складывается парадоксальная: при наличии богатейших природных ресурсов и разнообразия климатических условий нашей страны, способствующих возделыванию сотни видов культур, служащих для получения эфирных масел, душистых смесей, страна закупает мятное, шалфейное, ромашковое эфирные масла, масло тмина, тимьяна, розы.



Соотношение импорта и экспорта эфирных масел и душистых смесей

Россия имеет вековую историю и огромный опыт по возделыванию и переработке эфиромасличных растений. Упоминания об использовании эфироносов в России относятся к XI веку. Эфиромасличная отрасль в начале XIX века представлена производством аниса, который возделывался в Воронежской, Подольской, Курской и Херсонской губерниях, есть упоминание о возделывании тмина, мяты, шалфея, укропа. В конце XIX века (1880–1890 годы) строятся заводы эфирных масел: Гаеркорна в с. Юрасовке

© Черкашина Е. В., 2014

Воронежской губернии, Станевича в Воронежской губернии, Штерича в Харьковской губернии и т. д. К 1890 году насчитывалось более 10 заводов, производивших анисовое, мятное, ирное, розовое и другие виды масел [1].

В конце столетия из России вывозилось более 3000 т аниса, ввозилось более 50 кг эфирных масел на сумму 417 царских руб., косметических изделий более 150 кг на 675 царских руб. По данным Л. В. Полуденного с соавторами, до 1913 года эфиромасличные и пряноароматические растения в России возделывали на площади 9 тыс. га, производство сырья составляло около 6 тыс. т, а выработка эфирного масла 70–120 т [2].

На территории бывшего СССР располагалось более 40 совхозов-заводов, производящих эфирные масла и работающих на плантационном сырье, под эфироносами было занято в различные годы от 150 до 200 тыс. га. Однако при потребности в 3500 т эфирных масел объем производимой продукции покрывал ее лишь на 40 %.

Сложившаяся ситуация говорит о необходимости возрождения эфиромасличного производства в промышленных масштабах, это позволит перенаправить инвестиции на внутренний рынок, создать тысячи рабочих мест в сельской местности, использовать аграрный и промышленный потенциал страны, пополнить отечественный рынок натуральной качественной продукцией.

По нашим исследованиям, в России можно возделывать более 50 эфироносов в различных регионах (см. таблицу). Как видно из таблицы, в Нечерноземье, Центрально-Черноземных областях перечень культур обширен и составляет 35–40 видов, на территории субъектов Южного федерального округа и Западной Сибири можно возделывать 26–28 разновидностей, в остальных регионах не менее 16 из известных и введенных в культуру растений. Эфироносы возделываются в специальных севооборотах и на многолетних плантациях.

Для покрытия потребностей в эфирном масле необходимо под эфиромасличные культуры отвести до 150 тыс. га (с учетом новых технологий возделывания и переработки), построить новые, реконструировать существующие заводы и довести их число до 50 стационарных перерабатывающих комплексов мощностью около 70 тонн в год каждый. Стоимость заводов составит примерно 140 млн долларов США – цифра не малая, но вполне сопоставимая с объемом импорта в 2012 году, равным 620 млн долларов США.

При планировании перерабатывающего сектора в эфиромасличном производстве необходимо учесть возможность использования передвижных мини-заводов, способных перерабатывать до 5 л эфирного масла за смену (8 часов), а также существующие разработки отечественных ученых в части создания недорогих и эффективных комплексов по переработке эфиромасличного и лекарственного сырья [3], применение которых в разы сократит затраты на строительство заводов.

С учетом вышесказанного размещение перерабатывающих заводов по стране должно быть распределительным как по численности, так и по мощности. Для расчета числа заводов большое значение имеют вопросы формирования их сырьевых зон (то есть увязка площади сырьевой зоны и мощности перерабатывающего завода), которое выполняется при планировании развития отрасли и в процессе землеустроительных работ (межхозяйственное землеустройство).

Распределение эфиромасличных растений по зонам возделывания

№ п/п	Зоны возделывания	Растения
1	**Европейская часть России**	
	Северные обл. (кроме Крайнего Севера)	Аир, багульник, бессмертник, гравилат, девясил, дягиль, зверобой, котовник лимонный, левзея, лимонник, пастернак, петрушка, пижма, полынь однолетняя, пустырник, ромашка аптечная, сельдерей, тысячелистник, цефалофора, эхинацея
	Центральные обл. (Нечерноземье)	Аир, алтей, багульник, базилик, бессмертник, валериана, гравилат городской, девясил, дурман, дягиль, зверобой, ирис, кориандр, котовник, левзея, лимонник, морковник, пастернак, петрушка, пижма, полынь однолетняя, пустырник, ромашка аптечная, сельдерей, сирень, тмин, тысячелистник, хмель, цефалофора, чабер, чернушка, эльсгольция, эхинацея
	Южные обл. (ЦЧО)	Аир, алтей, анис, базилик, бессмертник, валериана, гравилат, девясил, дубровник, дурман, дягиль, зверобой, ирис, иссоп, кориандр, котовник лимонный, левзея, лимонник, марь амброзиевидная, морковник, мята, пастернак, перец стручковый, петрушка, полынь однолетняя, пустырник, ромашка аптечная, сельдерей, сирень, тысячелистник, укроп, фенхель, хмель, цефалофора, чернушка, шалфей, эхинацея
2	**Кавказ, Краснодарский, Ставропольский края**	Амми большая, анис, горчица сарептская, дурман, дягиль, лаванда, лимонник, марь амброзиевидная, мелисса лимонная, морковник, мята, пастернак, перец стручковый, петрушка, пустырник, расторопша, роза, сельдерей, сирень, тимьян, тысячелистник, фенхель, чабер, чернушка, шалфей, эхинацея
3	**Сибирь (центральные и южные области)**	
	Восточная	Аир, багульник, бессмертник, дурман, дягиль, колюрия, котовник лимонный, лимонник, морковник, петрушка, пижма, полынь, сельдерей пахучий, тмин, тысячелистник, эльсгольция
	Западная	Аир, алтей, багульник болотный, бессмертник, горчица сарептская, гравилат, девясил, дурман, дягиль, колюрия, котовник лимонный, лимонник, морковник, пастернак, петрушка, пижма, пустырник, расторопша пятнистая, сельдерей, тмин, тысячелистник, хмель, чабер, эльсгольция, эхинацея
4	**Дальний Восток**	Аир, багульник, дягиль, котовник лимонный, лимонник, лофант анисовый, петрушка, пижма, сельдерей, сирень, тысячелистник, элеутерококк, эльсгольция, эхинацея

По нашим исследованиям, площадь сырьевой зоны можно рассчитать по следующей формуле:

$$M = P_к \cdot У_к - П,$$

где M – мощность перерабатывающего завода, тонн в сезон; $P_к$ – площадь, занимаемая культурой, га; $У_к$ – урожайность культуры, т/га; $П$ – допустимые потери сырья, т; $П = П_1 + П_2 + П_3$, $П_1$ – потери сырья из-за погодных условий (засуха, пасмурная погода, дожди), %; $П_2$ – потери сырья при уборке и транспортировке, %; $П_3$ – потери при переработке, %.

В основе формирования сырьевой зоны лежит расчет расстояния от плантации многолетних эфироносов или эфиромасличных севооборотов до перерабатывающего завода, которое не должно превышать допустимого расстояния для перевозки сырья различных групп. Допустимое расстояние можно определить по формуле:

$$L = U\,(t_1 - t_2) \cdot K_g,$$

где U – скорость грузового транспорта, км/ч; t_1 – время, в течение которого сырье не теряет эфирных масел, ч; t_2 – длительность пребывания транспортных средств под загрузкой на поле (плантации), во время разгрузки, простои, ч; K_g – коэффициент извилистости дорог.

На основе проведенных исследований были установлены следующие расстояния от посевов (посадок) эфироносов до заводов: для цветочной группы растений: лаванда – 30–40 км, роза – 10–15 км, шалфей – 20–30 км; для травянистой группы: герань – 10–20 км, базилик – 60–80 км. Для зерновой группы, в силу особенностей хранения сырья, расстояние не регламентируется.

В данной статье мы затронули лишь часть вопросов, связанных с восстановлением и эффективным функционированием эфиромасличного производства в России. Наряду с вышеперечисленными, требуют решения проблемы формирования землепользований (землевладений) сельскохозяйственных предприятий, возделывающих эфиромасличные культуры, их землеустройства с глубокой проработкой вопросов организации и устройства территории эфиромасличных севооборотов и плантаций многолетних эфироносов, чему посвящены исследования автора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базаров А. И., Монтеверде Н. А. Душистые растения и эфирные масла. СПб., 1899. 159 с.
2. Полуденный Л. В. и др. Эфиромасличные культуры. М.: МСХА, 1994. 144 с.
3. Самойлов В. А., Невзоров В. Н., Невзорова Т. В. Производство эфирного масла из растительного сырья [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.kgau.ru/img/konferenc/2011/f21.doc

Cherkashina E. V., State University of Land Use and Planning, (Moscow, Russian Federation)

PROBLEMS OF ESSENTIAL OIL PRODUCTION DEVELOPMENT IN RUSSIA

The need of the country for essential oils and their derivatives is assessed based on the review of the market of the above-mentioned products. The review included data about manufacturing countries and suppliers of essential oil products. Results of the analysis concerning export and import of essential oils and fragrant mixes in 2004–2012 are provided. Essential oil and their derivatives are in high demand. To meet the needs of the country an approximate volume of essential oil products required by the country is established. The relevance of the problem concerning renewal and development of essential oil production in Russia is substantiated. A list of aromatic crops grown on different cultivation zones on the territory of the country is offered. The number of processing plants and subsequent development of their raw zones are considered. Recommendations on the distance of aromatic crops' plantations from the site of processing plants are provided. Solutions of the problems related to essential oil production development are suggested.

Key words: essential oil production, raw zones of processing plants, land management

REFERENCES

1. Bazarov A. I., Monteverde N. A. *Dushistye rasteniya i efirnye masla* [Aromatic plants and essential oils]. St. Petersburg, 1899. 159 p.
2. Poludennyy L. V. i dr. *Efiromaslichnye kul'tury* [Essencial oil plants]. Moscow, MSKhA Publ., 1994. 144 p.
3. Samoylov V. A., Nevzorov V. N., Nevzorova T. V. *Proizvodstvo efirnogo masla iz rastitel'nogo syr'ya* [Production of essensial oil from plant product]. Available at: http://www.kgau.ru/img/konferenc/2011/f21.doc

Поступила в редакцию 20.12.2013

Март, № 2 **Технические науки** **2014**

УДК 72.03(470):691.11

ПАВЕЛ ПЕТРОВИЧ МЕДВЕДЕВ
кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования и инженерной графики строительного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
pmedvedev@petrsu.ru

МОРФОЛОГИЯ ТРАДИЦИОННЫХ СЕЛЬСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ АРХАНГЕЛЬСКОГО ПРИМОШЬЯ*

Представлены результаты исследования морфологии традиционных сельских поселений Архангельского Примошья – одного из специфических историко-архитектурных субрегионов Российского Севера, расположенного в юго-западной части Архангельской области. В исследовании было задействовано двадцать четыре объекта и по десяти ведущим архитектурно-типологическим параметрам прослежена вариативность их объемно-планировочных решений.

Ключевые слова: Российский Север, Архангельское Примошье, морфология традиционных сельских поселений

Архангельское Примошье – специфический историко-архитектурный субрегион Российского Севера, расположенный в юго-западной части Архангельской области (Няндомский район) и занимающий пограничное положение между территориями Поважья, Архангельского Поонежья и Каргополья [7; 8, рис. 1]. За период работы историко-архитектурной экспедиции Петрозаводского государственного университета в 1991 году на территории Архангельского Примошья было обследовано 24 традиционных сельских поселения [7; 12, рис. 5–6], [10].

С целью более глубокого изучения специфики историко-архитектурного наследия Архангельского Примошья специалистами кафедры систем автоматизированного проектирования (САПР) ПетрГУ была проведена камеральная обработка натурных материалов по отдельным сельским поселениям, накопленных за период 1989–1992 годов в процессе работы историко-архитектурных экспедиций ПетрГУ [5], [12], [13], [15].

В последующем с использованием возможностей табличного процессора Excel и системы управления базами данных Access была подготовлена локальная база данных для комплексного анализа объемно-планировочных структур традиционных сельских поселений и детального изучения субрегиональных особенностей их архитектурно-пространственной и композиционно-планировочной организации в развитие фрагментарных исследований, начатых еще в 1979 году [4], [6], [10].

В процессе камеральной обработки натурных и архивно-литературных материалов и предварительной систематизации накопленной историко-архитектурной информации в орбиту исследования были включены их следующие архитектурно-типологические характеристики: 1) особенности социально-функционального назначения поселений с учетом преобладающего и побочного направлений хозяйственно-производственной деятельности их жителей (классы – «К»); 2) ролевые функции поселений в социально-экономической организации субрегиональной поселенческой ткани с характеристикой дворности населенных пунктов и степени оседлости их жителей (подклассы – «ПК»); 3) особенности планировочной организации (функционального зонирования) территории поселений с оценкой территориально-пространственной целостности внутрипоселенческой ткани (группы – «Г»); 4) особенности функциональной взаимосвязи внутрипоселенческой ткани с естественной и искусственной транспортной инфраструктурой (подгруппы – «ПГ»); 5) вариативность объемно-планировочных структур населенных пунктов (типы – «Т»); 6) вариантивность форм пятна застройки поселений (подтипы – «ПТ»); 7) композиционные особенности взаимодействия пятна поселенческой застройки с естественными и искусственными структурообразующими элементами (виды – «В»); 8) приемы архитектурно-композиционной акцентировки жилой застройки поселений (подвиды – «ПВ»); 9) специфика взаимодействия внутрипоселенческой ткани с окружающим природным ландшафтом (разновидности – «Р»); 10) особенности внешнего и внутреннего зрительного восприятия поселенческой застройки (подразновидности – «ПР»).

В силу специфики проведенных историко-архитектурных исследований (естественно, что приоритетом в первую очередь пользовались памятники народного зодчества) в процессе изучения особенностей социально-функционального назначения поселений все обследованные на территории Архангельского Примошья населен-

© Медведев П. П., 2014

ные пункты в итоге образовали единый класс сельских поселений («К1» – 100,00 %) с преобладающей животноводческо-земледельческой специализацией («К1/6» – 70,83 %).

Примером населенного пункта типа «К1/6» может служить деревня Анташинская (дд. Анташинская-Анташиха-Похлебаиха и Кипровская-Кусовская), находящаяся в юго-восточной части Архангельского Примошья (рис. 1а). Она расположена на пологом восточном берегу озера Мошинское и является составным элементом Мошинской групповой системы населенных мест [1; 89, № 2494], [11; № 3511, 3513]. На момент обследования историко-архитектурной экспедицией ПетрГУ в 1991 году деревня представляла собою два ранее сросшихся поселения – деревни Анташинская-Анташиха-Похлебаиха и Кипровская-Кусовская – и в ней насчитывалось двадцать шесть жилых домов.

Вместе с тем в процессе анализа архангельско-примошских населенных пунктов на уровне вариантов классов семь поселений были отнесены к переходному варианту поселений, доля которых оказалась в Примошье весьма значительной («К1/16» – 29,17 %). К ним были отнесены семь архангельско-примошских населенных пунктов, которые в прошлом имели животноводческо-земледельческую специализацию («К1/6»), однако с течением времени закономерно перешли в разряд дачных населенных пунктов, не более 25 % взрослого населения которых постоянно занято сельским хозяйством («К1/13» – 29,17 %).

Примером подобного типа поселений может служить деревня Большое Матьозеро (Холдиево-Мадзеро), находящаяся в юго-восточной части Архангельского Примошья (рис. 1б). Она расположена на пологом западном берегу озера Матьозеро и является планировочным ядром Матьозерской групповой системы населенных мест [1; 88, № 2474], [17; 12, рис. 6]. На период 1991 года в деревне насчитывалось только три жилых дома, а ранее она относилась к подвиду периферийно-акцентированных поселений с одной доминантой, расположенной вне пятна застройки и находящейся в направлении главной композиционной оси поселения и позади жилых домов.

В процессе дальнейшего анализа накопленной историко-архитектурной информации после разложения населенных пунктов гибридного класса на чистые составляющие распределение обследованных на территории Российского Севера поселений по особенностям их социально-функционального назначения предстало в следующем виде. В роли наиболее типичных для Российского Севера выступили населенные пункты с животноводческо-земледельческой специализацией («К1/6» – 89,00 %). Второе по численности место заняли рыболовецкие населенные

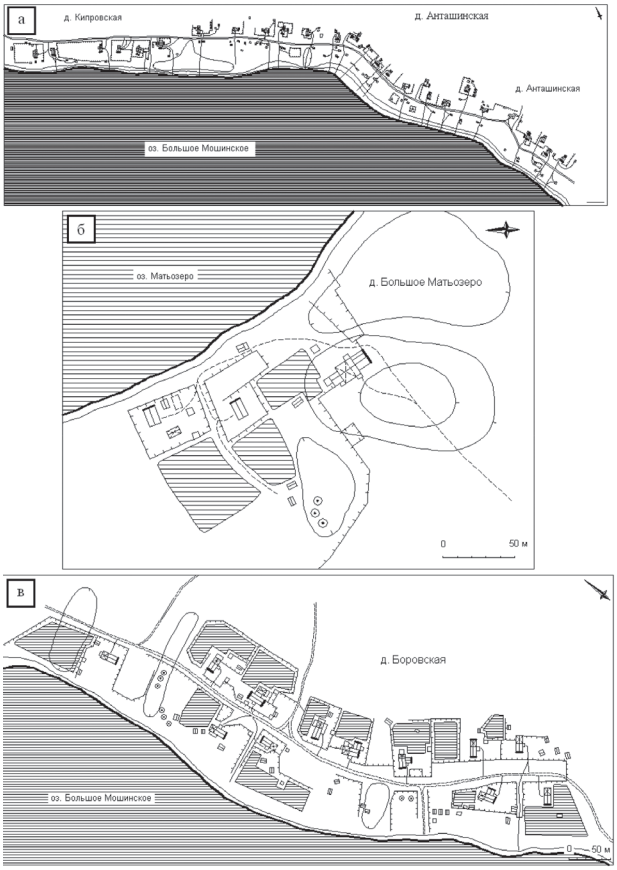


Рис. 1. Деревни Анташинская (дд. Анташинская-Анташиха-Похлебаиха и Кипровская-Кусовская) (а), Большое Матьозеро (Холдиево-Мадзеро) (б) и Боровская (дд. Боровская-Мичневская-Никчемная и Чашин Конец-Шалки-Шелковый Конец) (в)

пункты («К1/2» – 10,00 %), а третьими выступили культовые поселения («К1/11» – 1,00 %). Согласно коэффициенту «типичности-уникальности», при трех признаках-атрибутах равному 9,76 % [8; 92], [9; 41], применительно к территории Российского Севера на вторую половину XX века культовые поселения могут рассматриваться в качестве достаточно уникальных объектов.

В дополнение к приведенным выше результатам был также выполнен анализ вариантов классов в их исходном («бывшем») и текущем («настоящем») состояниях раздельно по упоминавшимся выше соответствующим историко-архитектурным субрегионам. При визуальном сравнении сложившихся распределений наглядно видно, что с появлением поселений переходного варианта едва заметные в прошлом различия между отдельными субрегиональными территориями со временем обострились и приобрели более выраженный характер. В итоге Архангельское Примошье по распределению вариантов классов оказалось сходным с территорией Южного Прионежья.

Развивая далее общую характеристику архангельско-примошских поселений, можно сказать,

что по социально-экономическому статусу все обследованные на территории Примошья населенные пункты в итоге дифференцировались на четыре подкласса. Основная масса поселений на обследованной территории оказалась представленной деревнями («ПК2» – 95,83 %), и только одно поселение было отнесено к разряду погосто-мест («ПК3» – 4,17 %). Причем, согласно коэффициенту «типичности-уникальности», при двух признаках-атрибутах равному 14,65 % [8; 92], [9; 41], типичными можно считать только населенные пункты типа деревень, а поселение в виде погосто-места может рассматриваться в качестве явно уникального для исследуемой территории.

В данном случае к поселениям типа «ПК2», наряду с упоминавшимися ранее деревнями Анташинская и Большое Матьозеро, может быть отнесена деревня Боровская (дд. Боровская-Мичневская-Никчемная и Чашин Конец-Шалки-Шелковый Конец), находящаяся в юго-восточной части Архангельского Примошья (рис. 1в). Она расположена на пологом восточном берегу озера Мошинское, является составным элементом Мошинской групповой системы населенных мест и на период 1991 года представляла собой два ранее сросшихся поселения – деревни Боровская-Мичневская-Никчемная и Чашин Конец-Шалки-Шелковый Конец, в ней насчитывалось двенадцать жилых домов [1; 88, № 2477], [7; 12, рис. 6], [11; № 3525].

В свою очередь в качестве примера населенного пункта типа «ПК3» может быть названа деревня Погост, находящаяся в юго-восточной части Архангельского Примошья (рис. 2а). Она расположена на полуострове, клином вдающемся в озеро Мошинское, и в прошлом играла роль административного и композиционного центра Мошинской групповой системы населенных мест [1; 90, № 2524], [7; 12, рис. 6], [11; № 3504]. На период 1991 года в ней насчитывалось семь жилых домов, а на северо-западной окраине деревни сохранилась каменная церковь Рождества Богородицы, построенная в 1822 году (рис. 2б). Церковь стоит в направлении главной композиционной оси поселения и одновременно размещается перед фронтом и позади жилых домов, благодаря чему поселение относится к подвиду периферийно-акцентированных населенных пунктов.

Из известных на территории Российского Севера социально-экономических типов поселений в границах Архангельского Примошья в числе обследованных населенных пунктов не оказалось селец («ПК5»), хуторов («ПК6») и сельских поселков («ПК7»). В то же время после разложения гибридных и смешанных вариантов на «чистые» составляющие в числе задействованных в исследовании северно-русских поселений наряду с деревнями («ПК2» – 90,50 %), селами

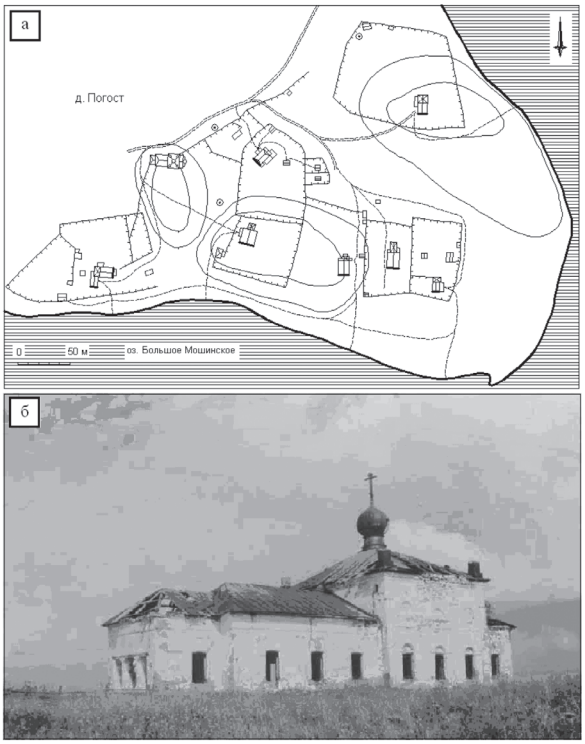


Рис. 2. Деревня Погост (а) и церковь Рождества Богородицы, 1822 год (фото П. П. Медведева, 1991 год) (б)

(«ПК4» – 4,00 %), погосто-местами («ПК3» – 3,00 %) и починками («ПК1» – 1,00 %) проявились еще и сельские поселки («ПК7» – 1,50 %).

В этой связи следует сделать некоторые уточнения. Во-первых, что касается сельских поселков, то они на территории Архангельского Примошья, конечно же, существуют. Так, к примеру, на территории Няндомского района, по сведениям на 1984 год, в перечне 157 населенных пунктов значилось 11 поселков (Шалакуша, Мирный, Лепша Новый, Тарза, Великая Речка, Солюга, Заозерный, Новая, Новая Икса, Шестнозерский, Холмолеево и лесной поселок 23-го квартала), которые составляли 7,01 % [1; 86–90]. Но в силу специфики проводимых историко-архитектурных изысканий, нацеленных в первую очередь на изучение морфологии памятников народного зодчества, современные рабочие и лесозаготовительные поселки в орбиту исследования не включались.

Далее при исследовании размеров поселений все обследованные на территории Архангельского Примошья населенные пункты были стратифицированы на два варианта. При этом почти ровно две пятых всех поселений оказались представлены населенными пунктами средней дворности, в застройке которых насчитывается от 11 до 50 крестьянских дворов («ПК/3» – 37,50 %), тогда как господствующими на обследованной территории оказались малодворные поселения с числом дворов от 2 до 10 («ПК/2» – 62,50 %).

Вместе с тем нельзя не заметить, что применительно к примошской территории оба выделенных подкласса поселений могут считаться вполне типичными, согласно коэффициенту «типичности-уникальности», значение которого при двух признаках-атрибутах составляет 14,65 % [8; 92], [9; 41].

Кроме того, по сложившемуся распределению территория Архангельского Примошья оказывается существенно отличной от смежных историко-архитектурных субрегионов, в границах которых наблюдается явное господство поселений типа «ПК/3», вследствие чего она представляется более архаичной, иллюстрируя заторможенность эволюционного процесса развития сельских поселений, причиной чему, вероятнее всего, служила оторванность примошской территории от экономически развитых центров и основных торговых путей.

Примерами среднедворных поселений типа «ПК/3», наряду с упоминавшимися выше деревнями Анташинская и Боровская, может служить деревня Будринская (Коровинская), находящаяся в юго-восточной части Архангельского Примошья (рис. 3а). Она расположена на пологом восточном берегу озера Мошинское, является составным элементом Мошинской групповой системы населенных мест, на период 1991 года в деревне насчитывалось восемь жилых домов [1; 88, № 2476], [7; 12, рис. 6], [11; № 3520].

Другим примером поселений средней дворности является деревня Климовская (дд. Климовская и Полинская-Павловская), находящаяся в юго-восточной части Няндомского района (рис. 3б). Она расположена на пологом восточном берегу озера Мошинское, является составным элементом Мошинской групповой системы населенных мест, на период 1991 года в ней насчитывалось двадцать жилых домов [1; 88, № 2495], [11; № 3519].

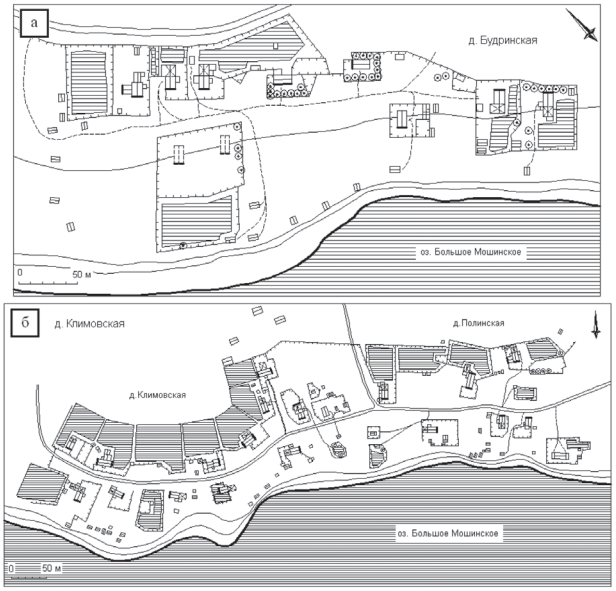


Рис. 3. Деревни Будринская (Коровинская) (а) и Климовская (дд. Климовская и Полинская-Павловская) (б)

Примером малодворного поселения типа «ПК/3», помимо уже упоминавшейся деревни Погост, может служить деревня Верховье (Верховская), находящаяся в юго-восточной части Няндомского района (рис. 4а). Она расположена на левом берегу в излучине реки Лим, является составным элементом Лимской групповой системы населенных мест, на период 1991 года в ней насчитывалось три дома – два заброшенных и один жилой, используемый в качестве летней дачи [1; 88, № 2458], [7; 12, рис. 6], [11; № 3542].

Помимо упомянутых домов в деревне также была обследована жилая часть одного полуразрушенного дома и две «зимовки» от утраченных домов-комплексов. По сведениям, полученным от местных жителей, в деревне ранее имелось 17 жилых домов. Не обладая архитектурными доминантами, деревня Верховье относится к подвиду нейтральных поселений. Однако следует отметить, что в прошлом в деревне имелась деревянная Георгиевская часовня, месторасположение которой осталось неизвестным.

После изучения дворности архангельско-примошских поселений на уровне подвариантов подклассов в процессе систематизации накопленной историко-архитектурной информации фиксировалась степень оседлости жителей отдельных населенных пунктов. В итоге сезонно-обитаемых поселений в чистом виде (населенные пункты типа «ПК/ (1)»), подобно летним сенокосным деревням, бытующим на территории Архангельской области [14; 113–120], или рыболовецким тоням Беломорского Поморья [2; 24], в границах Архангельского Примошья было выявлено только одно. Им оказалась упомянутая выше деревня Верховье (рис. 4а).

А основная масса обследованных поселений оказалась представленной круглогодично обитаемыми населенными пунктами («ПК/ (2)»), составившими применительно к исследуемой территории 87,50 %. В их числе, помимо уже охарактеризованных ранее деревень Анташинская, Большое Матьозеро, Боровская, Будринская и Климовская (см. рис. 1а, 1б, 1в, 3а и 3б), может быть упомянута деревня Заболотье, находящаяся в юго-восточной части Няндомского района (рис. 4б) [1; 89, № 2488], [7; 12, рис. 6], [11; № 3527]. Она расположена на вершине пологого холма, входит в состав Мошинской групповой системы населенных мест, на период 1991 года в ней насчитывалось три жилых и два заброшенных дома.

Вместе с тем нельзя не заметить, что круглогодично и сезонно обитаемые поселения на исследуемой территории оказались не единственными подвариантами. Наряду с ними в процессе полевых работ были выявлены на-

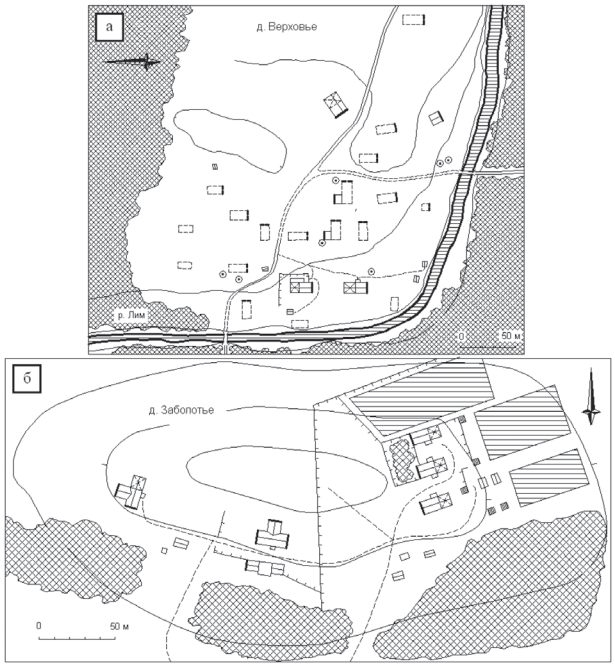


Рис. 4. Деревни Верховье (Верховская) (а) и Заболотье (б)

селенные пункты смешанного (переходного от «ПК/ (2)» к «ПК/ (1)») типа с достаточно высоким процентом сезоннообитаемых дворов («ПК/ (3)» – 8,33 %). Согласно коэффициенту «типичности-уникальности», при трех признаках-атрибутах равному 9,76 % [8; 92], [9; 41], к числу типичных поселений могут быть отнесены только населенные пункты типа «ПК/ (2)», тогда как поселения типа «ПК/ (1)» и «ПК/ (3)» представляются явно уникальными. К числу населенных пунктов типа «ПК/ (3)» на территории Архангельского Примошья относятся деревни Сидорова Гора и Бережная из состава Андреевской групповой системы населенных мест [7; 12, рис. 5].

Наконец, на уровне первого дополнительного признака для подклассов была исследована степень мобильности поселений, в результате оценки которой все без исключения задействованные в исследовании архангельско-примошские населенные пункты оказались отнесенными к варианту стационарных поселений («ПК (01.3)» – 100,00 %).

После изучения ролевых функций архангельско-примошских населенных пунктов в социально-экономической организации субрегиональной поселенческой ткани исследованию были подвергнуты особенности планировочной организации поселений с оценкой территориально-пространственной целостности поселенческой застройки. В этой связи необходимо напомнить, что планировочная организация населенных пунктов в общем случае выступает в виде различных по назначению зон, направлений (осей) и центров развития. В населенных пунктах это, как правило, селитебные и производственные зоны, общественные центры, а также система транспортных и инженерно-технических коммуникационных осей [3; 26].

В процессе изучения этого вопроса все обследованные на территории Архангельского Примошья поселения удалось стратифицировать на три группы. В итоге первую группу образовали поселения без функционального зонирования поселенческой ткани, именуемые полифункциональными и составившие более одной трети всех обследованных на примошской территории населенных пунктов («Г1» – 41,67 %).

В первую группу поселений, наряду с упоминавшимися ранее деревнями Анташинская, Большое Матьозеро, Боровская, Будринская и Заболотье (см. рис. 1а, 1б, 1в, 3а и 4б), входит деревня Кулемиха (Ермолинская), находящаяся в юго-восточной части Няндомского района (рис. 5а) [1; 89, № 2503], [7; 12, рис. 6], [11; № 3524]. Она расположена на пологом восточном берегу озера Мошинское, входит в состав Мошинской групповой системы населенных мест, на период 1991 года в ней насчитывалось три жилых дома.

Ко второй, более многочисленной группе поселений были отнесены населенные пункты с функциональным зонированием, и их относительное количество превысило пятидесятипроцентный барьер «явной типичности»

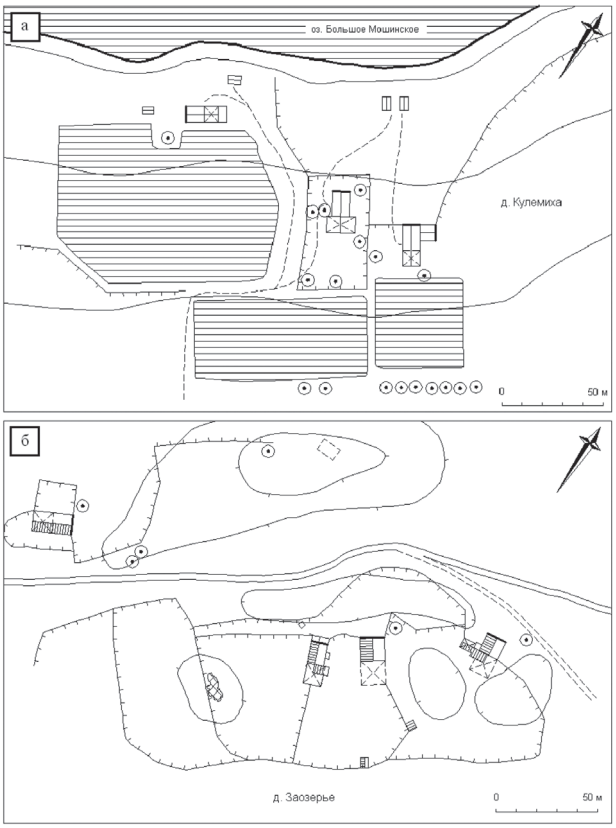


Рис. 5. Деревни Кулемиха (Ермолинская) (а) и Заозерье (Козьминская-Кузьминская) (б)

(«Г2» – 58,33 %). Причем, согласно коэффициенту «типичности-уникальности», при трех признаках-атрибутах равному 9,76 % [8; 92], [9; 41], поселения обеих выявленных групп применительно к исследуемой территории Архангельского Примошья могут считаться вполне типичными.

В числе населенных пунктов типа «Г2», наряду с охарактеризованными ранее деревнями Погост, Климовская и Верховье (см. рис. 2а, 3б и 4а), может быть названа деревня Заозерье (Козьминская-Кузьминская), находящаяся в юго-западной части Няндомского района и входящая в состав Андреевской групповой системы населенных мест (рис. 5б) [1; 87, № 2408], [7; 12, рис. 6], [11; № 2712].

Она расположена на вершине небольшого холма, плавно спускающегося к южному берегу озера Боровое, и на период 1991 года в ней имелся один жилой дом-комплекс, два жилых дома с утраченными дворами-сеновалами и один заброшенный дом также с утраченным двором-сеновалом. По сведениям, полученным от местных жителей, на южной окраине деревни в прошлом стояла небольшая деревянная часовня. Таким образом, ранее деревня Заозерье по характеру акцентировки относилась к подвиду центрично-акцентированных поселений с расположением одного акцента одновременно вне и на границе пятна застройки в направлении главной композиционной оси поселения и перед фронтом жилых домов.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (грант РГНФ, 2013–2014 гг., № 13-04-12008в, «Создание многоцелевой образно-графической и текстовой базы данных по памятникам народной архитектуры Северного Поонежья для сети Интернет»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архангельская область. Административно-территориальное деление (По состоянию на 1 января 1984 года). Архангельск: Сев-Зап. кн. изд-во, 1984. 174 с.
2. Бернштам Т. А. Поморы. Формирование группы и системы хозяйства. Л.: Наука, 1978. 176 с.
3. Город и ландшафт (проблемы, конструктивные задачи и решения) / В. В. Владимиров, Е. М. Микулина, З. Н. Яргина. М.: Мысль, 1986. 238 с.
4. Исследование морфологии традиционных расселенческо-поселенческих образований Русского Севера в период 19–20 веков (широтно-меридиональные разрезы): Отчет о НИР (заключительный) / ПетрГУ; Руководитель П. П. Медведев. № ГР 01.200.903333; Инв. № 02.201.001184. Петрозаводск, 2010. 140 с.
5. Медведев П. П. Инвентаризация деревянного зодчества Няндомского района Архангельской области (краткие итоги полевого сезона 1991 г.) / ПетрГУ. Петрозаводск, 1994. 65 с. (Деп. в НИО «Информкультура» 25.01.95, № 2919).
6. Медведев П. П. Морфология традиционных сельских поселений Российского Севера (предметно-содержательный и математико-модельный анализы) // Международная науч.-практ. конф. «Реконструкция – Санкт-Петербург-2005», 19–21 октября 2005 г.: Сб. докл. Ч. 1. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2005. С. 25–28.
7. Медведев П. П., Гашков И. И. Субрегиональные системы расселения Российского Севера // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2009. № 7 (101). С. 7–17.
8. Медведев П. П., Ефлов В. Б. Историко-архитектурная статистика как новая предметно-методологическая область исследований объектов и систем (К постановке проблемы) // Деревянное зодчество: Сб. науч. тр. Петрозаводск, 1992. С. 85–103.
9. Медведев П. П., Ратькова Е. И. Мера оценки типичности и уникальности в историко-архитектурных исследованиях // Международная науч.-практ. конф. «Реконструкция – Санкт-Петербург-2005», 19–21 октября 2005 г.: Сб. докл. Ч. 1. СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2005. С. 37–41.
10. Медведев П. П., Козлова Т. Д. Историко-архитектурное наследие Примошья (к морфологии традиционных архитектурно-пространственных систем и объектов Российского Севера) // Труды Петрозаводского государственного университета: Межвуз. сб. Сер. «Строительство». Вып. 6. «Новые технологии в строительстве». Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 24–28.
11. Олонецкий сборник. Материалы для истории, географии, статистики и этнографии Олонецкого края. Вып. 3. Петрозаводск: Типография Губернского Правления, 1894. 556 с.
12. Полевые обследования по методике кафедры архитектуры Петрозаводского государственного университета (ПГУ) // Деревянное зодчество: Сб. науч. тр. Петрозаводск, 1992. С. 216–218.
13. Полевые обследования по методике кафедры архитектуры Петрозаводского государственного университета (ПГУ) // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Российского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1991. С. 171.
14. Севан О. Г. Сезонные поселения и промысловые избы на русском Севере (к. XIX – нач. XX в.) // Советская этнография. 1982. № 1. С. 113–120.
15. Хроника исследования историко-архитектурного наследия Европейского севера и Сибири по методике кафедры архитектуры ПГУ // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Русского Севера: Межвуз. сб. Петрозаводск, 1988. С. 168–171.

Medvedev P. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

MORPHOLOGY OF TRADITIONAL RURAL SETTLEMENTS OF ARKHANGELSK PRIMOSHYA

Results of the research on morphology of traditional rural settlements of Arkhangelsk Primoshya are presented in the article. The settlements of Arkhangelsk Primoshya are viewed as specific historical and architectural subregions of the Russian North located in the southwestern part of Arkhangelsk region. 24 objects were studied. Variablity in space planning decisions is tracked with the help of ten leading architectural and typological parameters.

Key words: Russian North, Arkhangelsk Primoshye, morphology of traditional rural settlements

REFERENCES

1. Arkhangel'skaya oblast'. Administrativno-territorial'noe delenie (Po sostoyaniyu na 1 yanvarya 1984 goda) [Arkhangelsk region. Administrative-territorial division ((Lay out on January 1, 1984)]. Arkhangelsk, Sev.-zap. kn. izd-vo, 1984. 174 p.
2. B e r n s h t a m T. A. *Pomory. Formirovanie gruppy i sistemy hozyaystva* [Pomors. Formation of group and economy system]. Leninigrad, Nauka Publ., 1978. 176 p.
3. *Gorod i landshaft (problemy, konstruktivnye zadachi i resheniya)* [City and landscape (problems, constructive tasks and decisions] / V. V. Vladimirov, E. M. Mikulina, Z. N. Yargina. Moscow, Mysl' Publ., 1986. 238 p.
4. *Issledovanie morfologii traditsionnykh rasselenchesko-poselencheskikh obrazovaniy Russkogo Severa v period XIX–XX vekov (shirotno-meridional'nye razrezy). Otchet o NIR (zaklyuchitel'nyy)* [Research of morphology of traditional rasselenchesko-settlement formations of the Russian North during XIX–XX centuries (width and meridian cuts). Report on research work (final)] / PetrSU; Head P. P. Medvedev. Number of the state registration 01.200.903333; Accession number 02.201.001184]. Petrozavodsk, 2010. 140 p.
5. M e d v e d e v P. P. *Inventarizatsiya derevyannogo zodchestva Nyandomskogo rayona Arkhangel'skoy oblasti (kratkie itogi polevogo sezona 1991 g.)* [Inventory of wooden architecture of the Nyandomsky region of Arkhangelsk region (brief summary of a field season of 1991)] / PetrSU. Petrozavodsk, 1994. 65 p. (It is deposited in Research association "Informkultura" 25.01.95, № 2919).
6. M e d v e d e v P. P. Morphology of traditional rural settlements of the Russian North (subject and substantial and mathematical-model analyses) [Morfologiya traditsionnykh sel'skikh poseleniy Rossiyskogo Severa (predmetno-soderzhatel'nyy i matematiko-model'nyy analizy)]. *Mezhdunarodnaya nauch.-prakt. konf. "Rekonstruktsiya – Sankt-Peterburg-2005", 19–21 oktyabrya 2005 g.: Sb. dokl. Ch. 1* [International Scientific and practical conference "Reconstruction – Sankt-Petersburg-2005", October 19–21, 2005. Collection of reports. Part 1.]. St.-Petersburg, SPbGASU Publ., 2005. P. 25–28.
7. M e d v e d e v P. P., G a s h k o v I. I. Subregional systems of the Russian North resettlement [Subregional'nye sistemy rasseleniya Rossiyskogo Severa]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki".* 2009. № 7 (101) [Scientific notes of Petrozavodsk state university, № 7 (101). 2009. Series "Natural and Technical Science"]. P. 7–17.
8. M e d v e d e v P. P., E f l o v V. B. Historical and architectural statistics as a new methodological area for research of objects and systems (To problem statement) [Istoriko-arkhitekturnaya statistika kak novaya predmetno-metodologicheskaya oblast' issledovaniy ob''ektov i sistem (K postanovke problemy)]. *Derevyannoe zodchestvo: Sb. nauch. tr.* [Wooden architecture: Collection of scientific works]. Petrozavodsk, 1992. P. 85–103.
9. M e d v e d e v P. P., R a t ' k o v a E. I. Assessment measure of a typicalness and uniqueness assessment in historical-architectural research [Mera otsenki tipichnosti i unikal'nosti v istoriko-arkhitekturnykh issledovaniyakh]. *Mezhdunarodnaya nauch.-prakt. konf. "Rekonstruktsiya – Sankt-Peterburg-2005", 19–21 oktyabrya 2005 g.: Sb. dokl. Ch. 1* [International scientific and practical conference "Rekonstruktion – Sankt-Petersburg-2005", on October 19–21, 2005: Collection of reports. Part 1]. St.-Petersburg, SPbGASU Publ., 2005. P. 37–41.
10. M e d v e d e v P. P., K o z l o v a T. D. Historical and architectural heritage of Primoshye (to morphology of traditional architectural and spatial systems and objects of the Russian North) [Istoriko-arkhitekturnoe nasledie Primosh'ya (k morfologii traditsionnykh arkhitekturno-prostranstvennykh sistem i ob''ektov Rossiyskogo Severa)]. *Trudy Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Mezhvuz. sb. Ser. "Stroitel'stvo". Vyp. 6. "Novye tekhnologii v stroitel'stve"* [Works of Petrozavodsk state university. Interuniversity collection. Release 6. "New technologies in construction"]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 1999. P. 24–28.
11. *Olonetskiy sbornik. Materialy dlya istorii, geografii, statistiki i etnografii Olonetskogo kraya. Vyp. 3* [Olonets collection. Materials for history, geography, statistics and ethnography of Olonets area. Release 3]. Petrozavodsk: Tipografiya Gubernskogo Pravleniya Publ., 1894. 556 p.
12. Field inspections by the technique of the chair of architecture of Petrozavodsk State University (PetrSU) [Polevye obsledovaniya po metodike kafedry arkhitektury Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta (PGU)]. *Derevyannoe zodchestvo*: *Sb. nauch. tr.* [Wooden architecture: Collection of scientific works]. Petrozavodsk, 1992. P. 216–218.
13. Field inspections by the technique of the chair of architecture of Petrozavodsk State University (PetrSU) [Polevye obsledovaniya po metodike kafedry arkhitektury Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta (PGU)]. *Problemy issledovaniya, restavratsii i ispol'zovaniya arkhitekturnogo naslediya Rossiyskogo Severa: Mezhvuz. sb.* [Problems of research, restoration and use of architectural heritage of the Russian North: Interuniversity collection]. Petrozavodsk, 1991. P. 171.
14. S e v a n O. G. Seasonal settlements and trade log huts in the Russian North (to. XIX – beginning of the XX century) [Sezonnye poseleniya i promyslovye izby na russkom Severe (k. XIX – nach. XX v.)]. *Sovetskaya etnografiya* [The Soviet ethnography], 1982. № 1. P. 113–120.
15. The chronicle of research of historical and architectural heritage of European North and Siberia by a technique of chair of architecture of PetrGU [Khronika issledovaniya istoriko-arkhitekturnogo naslediya Evropeyskogo severa i Sibiri po metodike kafedry arkhitektury PGU]. *Problemy issledovaniya, restavratsii i ispol'zovaniya arkhitekturnogo naslediya Russkogo Severa: Mezhvuz. sb.* [Problems of research, restoration and use of architectural heritage of the Russian North: Interuniversity collection]. Petrozavodsk, 1988. P. 168–171.

Поступила в редакцию 04.06.2013

Март, № 2 **Технические науки** **2014**

УДК 630*372/375

АНТОНИНА ИВАНОВНА НИКИФОРОВА
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
tlzp@inbox.ru

ЕГОР ГЕРМАНОВИЧ ХИТРОВ
аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
yegorkhitrov@gmail.com

АЛЕКСАНДР АНДРЕЕВИЧ ПЕЛЫМСКИЙ
аспирант кафедры технологии лесозаготовительных производств, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
tlzp@inbox.ru

ОЛЬГА ИВАНОВНА ГРИГОРЬЕВА
доцент кафедры лесоводства, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
tlzp@inbox.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ПО ДВУСЛОЙНОМУ ОСНОВАНИЮ

Известен способ укрепления трелевочных волоков порубочными остатками с целью снижения экологического ущерба почвогрунту лесосеки, вызванного движением лесозаготовительной техники. Однако известные модели взаимодействия машины и лесного почвогрунта не достаточно полно раскрывают влияние различия физико-механических свойств слоя порубочных остатков и слоя грунта лесосеки, а также их изменение, вызванное уплотнением после прохода машины. В статье рассмотрено взаимодействие лесозаготовительной машины с основанием, состоящим из двух слоев: слоя измельченных порубочных остатков (верхний слой) и слоя грунта лесосеки (нижний слой). Предложена модель колееобразования, в явном виде учитывающая влияние различия физико-механических характеристик слоев основания, а также изменение свойств грунта после прохода машины. Рассмотрен алгоритм расчета глубины колеи при многократном прохождении техники по участку трассы и пример расчета глубины колеи после 25 проходов машины по трассе при варьировании удельного давления со стороны машины на основание и толщины слоя уложенных на него порубочных остатков.

Ключевые слова: грунт, колееобразование, циклическая нагрузка, многослойное основание, порубочные остатки

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в России все большее внимание уделяется экологическому аспекту проведения лесозаготовок [2]. Негативное влияние лесозаготовительной техники на лесной почвогрунт широко известно: переуплотнение, срез слоев почвогрунта лесосеки вызывают заметное снижение его качеств с точки зрения последующего лесовосстановления. Сохранение плодородия лесных почв является одним из магистральных направлений научно-технического прогресса в лесозаготовительном производстве [2].

Одним из путей решения задачи снижения экологического ущерба лесу, вызванного движением лесозаготовительной техники при осуществлении заготовки древесины, является укрепление трелевочных волоков лесосечными отходами. Этот способ представляется более целесообразным в свете необходимости утилизации отходов лесозаготовительного производства, что также является одной из важнейших практических задач отрасли [3].

Научно обоснованное планирование организационно-технических мероприятий по укреплению трелевочных волоков лесосек невозможно без четкого описания процесса взаимодействия лесозаготовительных машин с лесным почвогрунтом, при этом одной из главных характеристик процесса является глубина образующейся при проходе машины колеи [2].

Как показал анализ литературных источников обозначенной тематики, вопрос колееобразования при многократном проходе машины по участку трассы изучен недостаточно [3], [4].

© Никифорова А. И., Хитров Е. Г., Пелымский А. А., Григорьева О. И., 2014

В частности, отсутствуют математические модели, в явном виде учитывающие неоднородность основания, по которому движется машина, что имеет место при работе на укрепленном порубочными остатками участке волока.

В связи с изложенным дальнейшие исследования процесса взаимодействия лесозаготовительной техники с многослойным основанием представляются актуальными. В статье рассматривается процесс колееобразования при циклическом воздействии лесозаготовительной техники на грунт лесосеки, укрепленный измельченными порубочными остатками.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ

Для определения глубины колеи, образующейся при проходе лесозаготовительной техники по волоку, укрепленному порубочными остатками, рассмотрим уплотнение двухслойного основания под действием сжимающей нагрузки.

Для построения модели вначале зададимся законом распределения вертикальных напряжений сжатия σ по глубине в следующем виде [1]:

$$\sigma(z) = p\frac{J}{1+\left(\frac{z}{aD'}\right)^2}, \qquad (1)$$

где параметры J, a, D' определяются известными выражениями:

$$= \ + —, \qquad \sqrt{—}, \ J = \frac{0,03+\frac{l}{b}}{0,6+0,43\frac{l}{b}}, \qquad (2)$$

где F – площадь штампа, b – ширина штампа, l – длина штампа, H – толщина деформируемого слоя, p – давление со стороны машины на грунт.

Известно [1], что в общем виде осадка слоя грунта высотой $z_2 - z_1$ (z – вертикальная координата сечения) от действия нормального давления σ (z) может быть найдена из следующего уравнения:

$$h_{гл} = \int_{z_1}^{z_2}\frac{\sigma(z)}{E}dz. \qquad (3)$$

Тогда, после подстановки (1) в (3) и интегрирования, для осадки можем записать:

$$h_{гл} = p\frac{JaD'}{E}\left[\arctan\left(\frac{z_2}{aD'}\right)-\arctan\left(\frac{z_1}{aD'}\right)\right]. \qquad (4)$$

Необходимо учесть, что по мере приближения действующих сжимающих напряжений к несущей способности грунта p_s вертикальное перемещение штампа-деформатора начинает интенсивно возрастать (потеря несущей способности) [1], поэтому для определения величины истинной деформации $h_г$ используем формулу:

$$h_г = h_{гл}\frac{p_s}{p-p_s}. \qquad (5)$$

При этом несущая способность основания определяется следующим образом:

$$p_s = \frac{1}{4}p_{s0}\pi^2\arctan\frac{\pi(z_2-z_1)}{2b}, \qquad (6)$$

где p_{s0} находится из формулы [4]:

$$p_{s0} = J_1X_1 + J_2X_2 + X_3h_г. \qquad (7)$$

Значения параметров J_1, J_2 для выражения (7) определяются так:

$$J_1 = \frac{l}{l+0,4b}, \ J_2 = \frac{l+b}{l+0,5b}. \qquad (8)$$

Для расчета параметров X_1, X_2, X_3 используют следующие формулы [1]:

$$X_1 = \frac{\gamma\left(1-Ш^4\right)}{Ш^5}, \ X_2 = \frac{2C_0\left(1+Ш^2\right)}{Ш^3}, \quad X_3 = \frac{\gamma}{Ш^2}, \ Ш = \tan\left(\frac{\pi}{4}-\phi_0\right), \qquad (9)$$

где γ – объемный вес грунта, C_0 – внутреннее сцепление грунта, φ_0 – угол внутреннего трения грунта.

Поскольку рассматривается двуслойное основание (схема на рис. 1), в выражении (2) примем $H = H_1 + H_2$:

$$a = 1+\frac{b}{H_1+H_2}, \qquad (10)$$

где H_1, H_2 – толщина соответственно первого (верхнего) и второго слоев основания.

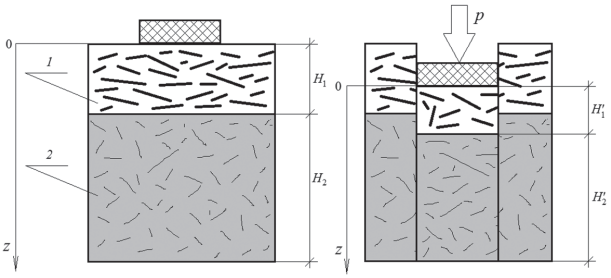


Рис. 1. Схема к определению осадки двуслойного основания: 1 – слой измельченных порубочных остатков, 2 – слой грунта лесосеки

В выражении (4) для пределов интегрирования нужно положить для первого слоя $z_1 = 0$, $z_2 = H_1 - h_{гл1}$; для второго слоя $z_1 = H_1 - h_{гл1}$, $z_2 = H_2 - h_{гл2}$.

Тогда для линейной деформации первого слоя основания $h_{гл1}$ можем записать:

$$h_{гл1} = p\frac{JaD'}{E_1}\arctan\left(\frac{H_1-h_{гл1}}{aD'}\right). \qquad (11)$$

Для линейной деформации второго слоя $h_{гл2}$ также получим:

$$h_{гл2} = p\frac{JaD'}{E_2}\left[\arctan\left(\frac{H_2 - h_{гл2}}{aD'}\right) - \arctan\left(\frac{H_1 - h_{гл1}}{aD'}\right)\right]. \quad (12)$$

Выражения для определения несущей способности слоев примут вид:
для первого слоя:

$$p_{s1} = \frac{1}{4}p_{s01}\pi^2 \arctan\frac{\pi\left(H_1 - h_{г1}\right)}{2b}, \quad (13)$$

для второго слоя:

$$p_{s2} = \frac{1}{4}p_{s02}\pi^2 \arctan\frac{\pi\left(H_1 - H_2 + h_{г1} - h_{г2}\right)}{2b}. \quad (14)$$

Учтем также, что величина p_{s0} в уравнениях (13), (14) для слоев грунта определяется так:
для первого слоя:

$$p_{s01} = J_1X_{1(1)} + J_2X_{2(1)} + X_{3(1)}h_{г1}, \quad (15)$$

для второго слоя:

$$p_{s02} = J_1X_{1(2)} + J_2X_{2(2)} + X_{3(2)}h_{г2}. \quad (16)$$

Параметры $X_{1(1)}$, $X_{2(1)}$, $X_{3(1)}$, $X_{1(2)}$, $X_{2(2)}$, $X_{3(2)}$ определяются по формулам (9) после подстановки значений физико-механических характеристик слоев основания (нижний индекс в скобках соответствует номеру слоя).

Выразим $h_{гл}$ через $h_г$ из (5) отдельно для каждого слоя:

$$h_{гл1} = h_{г1}\frac{p - p_{s1}}{p_{s1}},\ h_{гл2} = h_{г2}\frac{p - p_{s2}}{p_{s2}}. \quad (17)$$

В итоге получим следующие уравнения:

$$h_{г1}\frac{p - p_{s1}}{p_{s1}} = p\frac{JaD'}{E_1}\arctan\left(\frac{H_1 - h_{г1}\dfrac{p - p_{s1}}{p_{s1}}}{aD'}\right), \quad (18)$$

$$h_{г2}\frac{p - p_{s2}}{p_{s2}} = p\frac{JaD'}{E_2}\left[\arctan\left(\frac{H_2 - h_{г2}\dfrac{p - p_{s2}}{p_{s2}}}{aD'}\right) - \right.$$
$$\left. - \arctan\left(\frac{H_1 - h_{г2}\dfrac{p - p_{s2}}{p_{s2}}}{aD'}\right)\right]. \quad (19)$$

$$h_г = h_{г1} + h_{г2}. \quad (20)$$

Нетрудно увидеть, что трансцендентные уравнения (18), (19) содержат искомые величины $h_{г1}$, $h_{г2}$ как в левой, так и в правой своей части, получить их решение в замкнутом виде не представляется возможным.

При многократном проходе лесозаготовительной техники по одному и тому же участку волока необходимо учесть изменение физико-механических свойств основания в результате предыдущего прохода машины [3].

В работе [5] предлагается определять модуль деформации E, внутреннее сцепление C_0 и угол внутреннего трения φ_0 грунта в зависимости от его коэффициента пористости e.

Для учета изменения пористости грунта после уплотнения примем зависимость физико-механических характеристик грунта в следующем виде:

$$E(e) = \left(A_{aE} + B_{aE}I_L\right)\left[\left(1-\varepsilon\right)\left(e_{\max}+1\right)-1\right]^{\left(A_{bE}+B_{bE}I_L\right)}, \quad (21)$$

$$C_0(e) = \left(A_{aC} + B_{aC}I_L\right)\left[\left(1-\varepsilon\right)\left(e_{\max}+1\right)-1\right]^{\left(A_{bC}+B_{bC}I_L\right)}, \quad (22)$$

$$\phi_0(e) = \left(A_{a\phi} + B_{a\phi}I_L\right)\left[\left(1-\varepsilon\right)\left(e_{\max}+1\right)-1\right]^{\left(A_{\phi b}+B_{b\phi}I_L\right)}, \quad (23)$$

где ε – относительная деформация слоя грунта (2-й слой основания); e_{max} – коэффициент пористости, соответствующий максимально рыхлому состоянию грунта; A_{aE}, B_{aE}, A_{bE}, B_{bE}, A_{aC}, B_{aC}, A_{bC}, B_{bC}, $A_{a\varphi}$, $B_{a\varphi}$, $A_{b\varphi}$, $B_{b\varphi}$ – некоторые постоянные для определенного типа грунта коэффициенты, определяемые экспериментально, I_L – показатель, характеризующий консистенцию грунта, определяемый, в свою очередь, так [5]:

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}, \quad (24)$$

где W – абсолютная влажность грунта, W_p – влажность грунта на границе пластичности, W_L – влажность грунта на границе текучести.

После определения всех необходимых зависимостей можем перейти к расчетам глубины колеи, образующейся при многократном проходе лесозаготовительной техники по волоку, укрепленному слоем измельченных порубочных остатков.

Алгоритм расчетов следующий:

- задаемся типом грунта, его механическими свойствами (плотностью, пористостью, влажностью, влажностью на границе пластичности и раскатывания, толщиной деформируемого слоя) по [5]. По уравнениям (21)–(23) определяем значение модуля деформации, угла внутреннего трения и величину внутреннего сцепления;
- задаемся свойствами слоя порубочных остатков, укладываемых на волок (толщиной слоя, углом внутреннего трения, сцеплением и модулем деформации);
- принимаем удельное давление на грунт, параметры деформатора – ширину и длину, площадь контакта;
- по формулам (8), (10), (2), (13)–(16), (9) рассчитываем величины, входящие в уравнения (18)–(19);

- далее производится численное решение уравнений (18)–(20) и с использованием найденных значений $h_{г1}$, $h_{г2}$, $h_г$ вычисляется относительная деформация второго слоя основания (грунта) после первого прохода машины;
- с использованием выражений (21)–(23) определяются значения физико-механических параметров слоя грунта после первого прохода машины, при этом относительная деформация определяется с использованием рассчитанной величины $h_{г1}$; полученные таким образом значения модуля деформации, угла внутреннего трения и внутреннего сцепления грунта используются при определении деформации слоя грунта после следующего прохода машины;
- свойства слоя порубочных остатков считаем постоянными, изменяется только его толщина (уменьшается после каждого прохода на величину $h_{г1}$).

Для всех последующих проходов ход расчетов аналогичен описанному.

Как было отмечено ранее, уравнения (18)–(19) не имеют замкнутого решения, для их решения используются численные методы. Объем вычислений по описанному выше алгоритму значителен, на практике осуществление таких расчетов связано с существенными затратами времени, поэтому для проведения расчетов была составлена специальная программа в пакете смешанных вычислений *Maple*.

При проведении расчетов использовались следующие исходные данные:

$F = 0{,}04$ м^2, $b = 0{,}08$ м, $l = 0{,}5$ м, $H_1 = 0{,}2 \div 0{,}4$ м, $H_2 = 0{,}75$ м, $\rho_2^{(0)} = 1200$ кг/м^3, $W_L = 50$ %, $W_p = 20$ %, $W = 40$ %, $E_1 = 6000$ кПа, $\varphi_{10} = 28°$, $C_{10} = 0$, $p = 100 \div 250$ кПа, грунт – суглинок.

Определим, как изменяется осадка первого и второго слоев основания в зависимости от давления на грунт. Решая численно уравнения (18)–(20) при различных значениях давления p, получим графики, представленные на рис. 2.

Очевидно нелинейное влияние давления p на осадку первого и второго слоев основания. Осадка, начиная с давления $p = 100$ кПа, интенсивно увеличивается, что качественно согласуется с физической картиной деформации грунта [1]: по мере приближения давления к несущей способности основания заметно влияние дополнительных касательных напряжений, происходит срез слоев грунта и осадка штампа растет непропорционально давлению.

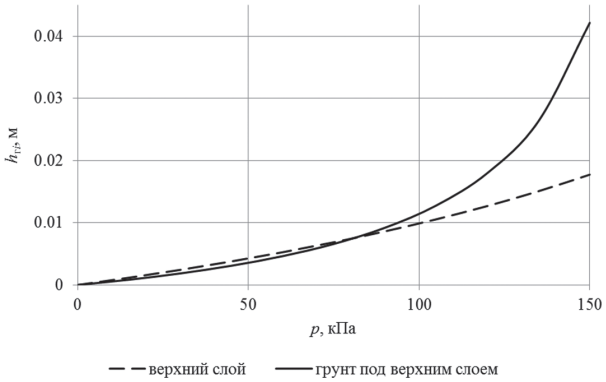


Рис. 2. Величина осадки слоев основания после однократного прохода машины ($H_1 = 0{,}2$ м)

Расчеты произведены при числе проходов N, равном 25, по трассе, основание которой представлено двумя слоями, в диапазоне давлений на грунт от 100 до 250 кН, результаты расчетов (глубина колеи, равная истинной деформации второго слоя основания $h_{г2}$) представлены на графиках (рис. 3–5).

Рассмотренный в статье подход, на наш взгляд, позволит достаточно просто определять

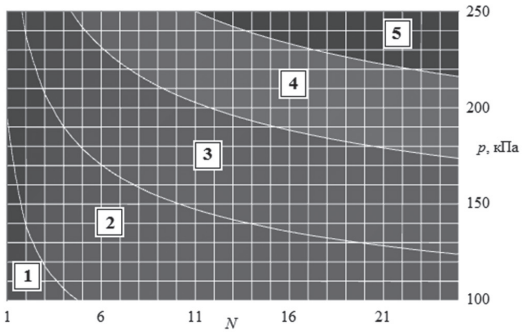


Рис. 3. Глубина колеи в зависимости от давления на грунт, см (толщина слоя порубочных остатков 0,2 м): 1 – 0–5 см, 2 – 5–10 см, 3 – 10–15 см, 4 – 15–20 см, 5 – 20–25 см

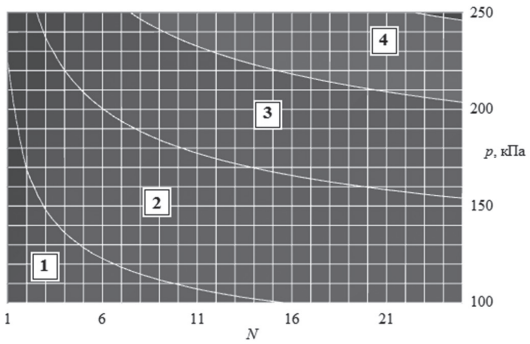


Рис. 4. Глубина колеи в зависимости от давления на грунт (толщина слоя порубочных остатков 0,3 м): 1 – 0–5 см, 2 – 5–10 см, 3 – 10–15 см, 4 – 15–20 см

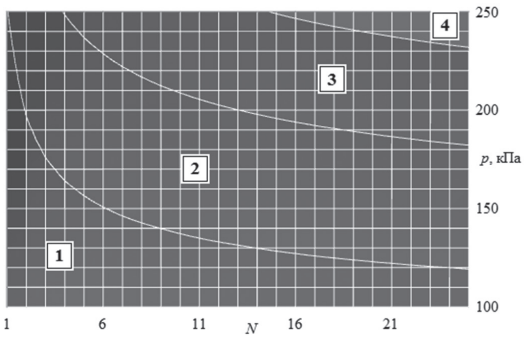


Рис. 5. Глубина колеи в зависимости от давления на грунт (толщина слоя порубочных остатков 0,4 м): 1 – 0–5 см, 2 – 5–10 см, 3 – 10–15 см, 4 – 15–20 см

глубину образующейся колеи при многократном прохождении техникой участка волока. При этом будет в явном виде учтено:

- влияние на колееобразование толщины слоя уложенных на волок измельченных порубочных остатков;
- влияние на глубину колеи изменения физико-механических свойств грунта после прохода машины.

Это, в свою очередь, позволит рассчитать достаточное для надежного укрепления волока количество укладываемых на него порубочных остатков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агейкин Я. С. Вездеходные колесные и комбинированные движители: теория и расчет. М.: Машиностроение, 1972. 184 с.
2. Григорьев И. В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: ЛТА, 2006. 236 с.
3. Григорьев И. В., Жукова А. И., Григорьева О. И., Иванов А. В. Средощадящие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: ЛТА, 2008. 176 с.
4. Григорьев И. В., Шапиро В. Я., Рудов С. Е., Жукова А. И. Модель процесса циклического уплотнения грунта в полосах, прилегающих к трелевочному волоку // Вестник КрасГАУ. № 2. Красноярск, 2010. С. 8–14.
5. Ларин В. В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: Дисс. … д-ра техн. наук. М.: МГТУ им. Баумана, 2007. 419 с.

Nikiforova A. I., Saint-Petersburg State Forest Technical University under name of S. M. Kirov (Saint-Petersburg, Russian Federation)
Khitrov E. G., Saint-Petersburg State Forest Technical University under name of S. M. Kirov (Saint-Petersburg, Russian Federation)
Pelymskiy A. A., Saint-Petersburg State Forest Technical University under name of S. M. Kirov (Saint-Petersburg, Russian Federation)
Grigor'eva O. I., Saint-Petersburg State Forest Technical University under name of S. M. Kirov (Saint-Petersburg, Russian Federation)

TWO-LAYER GROUND DRAUGHT DEFINITION UNDER LOGGING MACHINE PASSAGE

A method to strengthen skid trails with logging waste to reduce environmental damage to soil and ground caused by the logging machine passage is well known. However, exciting models of machines and forest soils' interaction do not adequately reveal the impact of differences in physical and mechanical properties on the logging waste layer and cutting area of the soil layer. The depth of its change caused by compression after machine's passage is not disclosed eihter. The paper considers interaction between two layers: a layer of shredded logging waste (top layer) and the soil layer of cutting area (bottom layer). Further, we describe a model of rutting that explicitly takes into account the effect caused by differences in physical and mechanical characteristics of the base layers and the change in soil characteristics after machines' passage. The algorithm calculating the gauge depth after machines' multiple passages is discribed. The article ends with an example of the rut depth calculation model for 25 machine passages. The study involves cases with variable volumes of pressure exercised by logging machines on the base and thickness of the logging waste layers.

Key words: soil, rutting, cyclic loading, multi-layer ground, logging waste

REFERENCES

1. Ageykin Ya. S. *Vezdekhodnye kolesnye i kombinirovannye dvizhiteli: teoriya i raschet* [Off-the-road wheeled and combined traction devices: Theory and Calculation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972. 184 p.
2. Grigor'ev I. V. *Snizhenie otritsatel'nogo vozdeystviya na pochvu kolesnykh trelevochnykh traktorov obosnovaniem rezhimov ikh dvizheniya i tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Mitigation of negative impacts on the soil caused by wheeled skidders by selecting modes of motion and process equipment]. SPb., LTA Publ., 2006. 236 p.
3. Grigor'ev I. V., Zhukova A. I., Grigor'eva O. I., Ivanov A. V. *Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii* [Eco efficient technologies of wood harvesting in the North-West region of the Russian Federation]. SPb., LTA Publ., 2008. 176 p.
4. Grigor'ev I. V., Shapiro V. Ya., Rudov S. E., Zhukova A. I. The process of cyclic compaction in the bands adjacent to skid trails model [Model' protsessa tsiklicheskogo uplotneniya grunta v polosakh, prilegayushchikh k trelevochnomu voloku]. *Vestnik KrasGAU*. № 2. Krasnoyarsk, 2010. P. 8–14.
5. Larin V. V. *Metody prognozirovaniya i povysheniya opornoy prokhodimosti mnogoosnykh kolesnykh mashin na mestnosti: Diss. ... d-ra tekhn. nauk* [Methods for predicting and improving multi-wheeled vehicles locomotion on the ground, Diss. doct. tehn. science]. Moscow, MGTU im. Baumana Publ., 2007. 419 p.

Поступила в редакцию 25.06.2013

Март, № 2 **Технические науки** **2014**

УДК 624.014.074:539.4

АНАТОЛИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ РОЧЕВ
кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники строительного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
metalll@bk.ru

РАСЧЕТ ПЛОСКИХ РАМ ИЗ НЕУПРУГИХ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*

Рассматривается деформационный расчет плоских рамных систем, опоры которых под нагрузкой получают нелинейные поступательные и угловые смещения. Элементы рам – неупругие составные стержни, имеющие переменное поперечное сечение и переменную жесткость связей сдвига по длине. В основу решения положена теория упругих составных стержней А. Р. Ржаницына. Статическая неопределимость рам раскрыта методом деформаций. Жесткость составных элементов рассчитана с использованием выражения для определения эквивалентного модуля деформаций, ранее полученного автором, который учитывает сжимаемость ветвей, деформации сдвига материала ветвей, составляющих стержень, развитие неупругих деформаций в них.

Ключевые слова: плоская рама, неупругие составные стержни, деформационный расчет, эквивалентный модуль деформаций

Исследуются неупругие плоские рамы, включающие в себя составные элементы, имеющие переменное поперечное сечение и переменную жесткость связей на сдвиг по длине элементов. Опорные узлы рам под нагрузкой получают нелинейные поступательные и угловые смещения.

В работе используются основные положения общей теории упругих составных стержней, разработанной А. Р. Ржаницыным [2]. Для материала ветвей и связей между ветвями устанавливается произвольная зависимость между деформациями и напряжениями. Применяется гипотеза о нелинейно-упругом материале. Раскрытие статической неопределимости рамной системы осуществляется методом деформаций с учетом влияния продольных сил, возникающих в элементах при деформировании рам под действием нагрузки.

Для определения перемещений плоской рамы стержень рамы делится по длине на m участков постоянной жесткости (в общем случае неравные) длиной l_j между узловыми точками j и $j+1$. В узлы элементов рамы вводятся дополнительные моментные $1j$ и силовые $2j$ связи, препятствующие их перемещениям. Многоконтурный стержень рамы с введенными связями образует основную систему метода деформаций. Расчет такой рамы производится шаговым методом [1].

Для определения реакций во введенных связях j-й участок элемента рамы рассматривается как жестко защемленный по концам составной стержень длиной l_j или стержень, защемленный на одном конце и шарнирно опертый на другом конце. Дифференциальное уравнение изгиба упругого двухветвевого ($n = 2$) составного стержня было получено в [2]. При работе за пределом упругости уравнение для j-го участка стержня рамы, в котором действует продольная сила $N_j^{(i)}$, на i-м шаге загружения будет иметь вид

$$v_j^{IV(i)} + v_j''^{(i)}(N_j^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)} - \lambda_j^{2(i)}) - v_j^{(i)} N_j^{(i)} \lambda_j^{2(i)} / C_{oj}^{(i)} - \\ -\lambda_j^{2(i)} M_{cj}^{(i)} / C_{oj}^{(i)} + M_{xj}^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)} = 0, \quad (1)$$

где $v_j^{(i)}$ – прогибы j-го участка стержня рамы на i-м шаге нагружения; $M_{cj}^{(i)}$ – изгибающий момент в составном стержне как в монолитном; $M_{xj}^{(i)}$ – изгибающий момент в составном стержне, лишенном связей сдвига; $C_{xj}^{equ(i)}$ – суммарная эквивалентная жесткость ветвей составного элемента на j-м участке элемента рамы при i-м шаге нагружения, равная

$$C_{xj}^{equ(i)} = \sum_{\upsilon=1}^{n} (E_{j\upsilon}^{equ(i)} J_{xj\upsilon}), \quad (2)$$

здесь $E_{j\upsilon}^{equ(i)}$ – эквивалентный модуль деформаций для сечений υ-й ветви j-го участка элемента рамы на i-м шаге нагружения; $J_{xj\upsilon}$ – момент инерции поперечного сечения υ-й ветви, постоянный по длине j-го участка элемента рамы; $C_{oj}^{(i)}$ – приведенная жесткость сечения j-го участка элемента рамы как монолитного на i-м шаге нагружения, равная

$$C_{oj}^{(i)} = C_{xj}^{equ(i)} + E_{cj1}^{(i)} A_{j1} E_{cj2}^{(i)} A_{j2} c_j^2 / (\sum_{\upsilon=1}^{n} (E_{cj\upsilon}^{(i)} A_{j\upsilon}), \quad (3)$$

здесь A_{j1} и A_{j2} – площадь поперечного сечения ветвей 1 и 2 j-го участка элемента рамы; c_j – расстояние между центрами тяжести ветвей составного элемента; $E_{cj1}^{(i)}$ и $E_{cj2}^{(i)}$ – секущие модули деформаций осевых волокон ветвей 1 и 2 на i-м шаге нагружения;

$$\lambda_j^{(i)} = \sqrt{\xi_j^{(i)} [\sum_{\upsilon=1}^{n} (1 / (E_{cj\upsilon}^{(i)} A_{j\upsilon}) + c_j^2 / C_{xj}^{equ(i)}]}, \quad (4)$$

© Рочев А. А., 2014

здесь $\xi_j^{(i)}$ – коэффициент жесткости продольных связей сдвига на j-м участке элемента рамы при i-м шаге нагружения.

Величина $E_{j\upsilon}^{equ(i)}$ в (2) определяется по формуле, полученной ранее автором статьи, опубликованной в [4] и использованной в [3].

Общее решение уравнения (1) имеет вид

$$v_j^{(i)} = \bar{C}_{1j}^{(i)} e^{(-k_{1j}^{(i)} z_j)} + \bar{C}_{2j}^{(i)} e^{(k_{1j}^{(i)} z_j)} + \bar{C}_{3j}^{(i)} e^{(-k_{2j}^{(i)} z_j)} + \\ + \bar{C}_{4j}^{(i)} e^{(k_{2j}^{(i)} z_j)} + (M_{jo}^{(i)} - Q_{jo}^{(i)} z_j) / N_j^{(i)}, \quad (5)$$

где

$$(k_{1j}^{(i)})^2 = \frac{-N_j^{(i)} + \lambda_j^{2(i)} C_{xj}^{equ(i)}}{2C_{xj}^{equ(i)}} - \\ - \frac{\sqrt{N_j^{2(i)} - 2N_j^{(i)} \lambda_j^{2(i)} C_{xj}^{equ(i)} + \lambda_j^{2(i)} (C_{xj}^{equ(i)})^2 [\lambda_j^{2(i)} + 4N_j^{(i)}] / C_{oj}^{(i)})}}{2C_{xj}^{equ(i)}}, \quad (6)$$

$$(k_{1j}^{(i)})^2 = \frac{-N_j^{(i)} + \lambda_j^{2(i)} C_{xj}^{equ(i)}}{2C_{xj}^{equ(i)}} + \\ + \frac{\sqrt{N_j^{2(i)} - 2N_j^{(i)} \lambda_j^{2(i)} C_{xj}^{equ(i)} + \lambda_j^{2(i)} (C_{xj}^{equ(i)})^2 [\lambda_j^{2(i)} + 4N_j^{(i)}] / C_{oj}^{(i)})}}{2C_{xj}^{equ(i)}}. \quad (7)$$

В (5) $M_{jo}^{(i)}$ и $Q_{jo}^{(i)}$ – соответственно изгибающий момент и поперечная сила в j-м узле j-го участка стержня рамы (в сечении $z_j = 0$) при отсутствии на нем поперечной нагрузки. Производные от функции прогибов будут иметь вид

$$\begin{aligned} v_j'^{(i)} &= (\bar{C}_{1j}^{(i)} e^{(-k_{1j}^{(i)} z_j)} + \bar{C}_{2j}^{(i)} e^{(k_{1j}^{(i)} z_j)}) k_{1j}^{(i)} \ln(e) - \\ &- (\bar{C}_{3j}^{(i)} e^{(-k_{2j}^{(i)} z_j)} - \bar{C}_{4j}^{(i)} e^{(k_2^{(i)} z_j)}) k_{2j}^{(i)} \ln(e) - Q_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)}, \\ v_j''^{(i)} &= (\bar{C}_{1j}^{(i)} e^{(-k_{1j}^{(i)} z_j)} + \bar{C}_{2j}^{(i)} e^{(k_{1j}^{(i)} z_j)}) k_{1j}^{2(i)} \ln(e)^2 - \\ &- (\bar{C}_{3j}^{(i)} e^{(-k_{2j}^{(i)} z_j)} - \bar{C}_{4j}^{(i)} e^{(k_2^{(i)} z_j)}) k_{2j}^{2(i)} \ln(e)^2, \\ v_j'''^{(i)} &= (\bar{C}_{1j}^{(i)} e^{(-k_{1j}^{(i)} z_j)} + \bar{C}_{2j}^{(i)} e^{(k_{1j}^{(i)} z_j)}) k_{1j}^{3(i)} \ln(e)^3 - \\ &- (\bar{C}_{3j}^{(i)} e^{(-k_{2j}^{(i)} z_j)} - \bar{C}_{4j}^{(i)} e^{(k_2^{(i)} z_j)}) k_{2j}^{3(i)} \ln(e)^3, \\ v_j^{IV(i)} &= (\bar{C}_{1j}^{(i)} e^{(-k_{1j}^{(i)} z_j)} + \bar{C}_{2j}^{(i)} e^{(k_{1j}^{(i)} z_j)}) k_{1j}^{4(i)} \ln(e)^4 - \\ &- (\bar{C}_{3j}^{(i)} e^{(-k_{2j}^{(i)} z_j)} - \bar{C}_{4j}^{(i)} e^{(k_2^{(i)} z_j)}) k_{2j}^{4(i)} \ln(e)^4. \end{aligned} \quad (8)$$

Используем метод начальных параметров. При $z_j = 0$ из (8) имеем

$$\begin{aligned} v_{jo}^{(i)} &= C_{1j}^{(i)} + C_{2j}^{(i)} + C_{3j}^{(i)} + C_{4j}^{(i)} + M_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)}, \\ v_{jo}'^{(i)} &= -u_j^{(i)} (C_{1j}^{(i)} - C_{2j}^{(i)}) - v_j^{(i)} (C_{3j}^{(i)} - C_{4j}^{(i)}) - Q_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)}, \\ v_{jo}''^{(i)} &= u_j^{2(i)} (C_{1j}^{(i)} + C_{2j}^{(i)}) + v_j^{2(i)} (C_{3j}^{(i)} + C_{4j}^{(i)}), \\ v_{jo}'''^{(i)} &= -u_j^{3(i)} (C_{1j}^{(i)} - C_{2j}^{(i)}) - v_j^{3(i)} (C_{3j}^{(i)} - C_{4j}^{(i)}), \\ y_{jo}^{IV(i)} &= u_j^{4(i)} (C_{1j}^{(i)} + C_{2j}^{(i)}) + v_j^{4(i)} (C_{3j}^{(i)} + C_{4j}^{(i)}), \end{aligned} \quad (9)$$

где $u_j^{(i)} = k_{1j}^{(i)} \ln(e)$, $v_j^{(i)} = k_{2j}^{(i)} \ln(e)$.

Решая систему (9), получаем

$$\begin{aligned} \bar{C}_{1j}^{(i)} &= \frac{v_j^{2(i)} (u_j^{(i)} v_{jo}^{(i)} + v_{jo}'^{(i)} - u_j^{(i)} M_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)} - Q_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)}) + u_j^2 v_{jo}''^{(i)} + v_{jo}'''^{(i)}}{2u_j^{(i)} (v_j^{2(i)} - u_j^{2(i)})}, \\ \bar{C}_{2j}^{(i)} &= \frac{v_j^{2(i)} (u_j^{(i)} v_{jo}^{(i)} + v_{jo}'^{(i)} - u_j^{(i)} M_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)} + Q_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)}) - u_j^{(i)} v_{jo}''^{(i)} - v_{jo}'''^{(i)}}{2u_j^{(i)} (v_j^{2(i)} - u_j^{2(i)})}, \\ \bar{C}_{3j}^{(i)} &= \frac{u_j^{2(i)} (v_j^{(i)} v_{jo}^{(i)} + v_{jo}'^{(i)} - v_j^{(i)} M_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)} - Q_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)}) + v_j^{(i)} v_{jo}''^{(i)} + v_{jo}'''^{(i)}}{2v_j^{(i)} (v_j^{2(i)} - u_j^{2(i)})}, \\ \bar{C}_{4j}^{(i)} &= \frac{u_j^{2(i)} (v_j^{(i)} v_{jo}^{(i)} + v_{jo}'^{(i)} - v_j^{(i)} M_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)} + Q_{jo}^{(i)} / N_j^{(i)}) - v_j^{(i)} v_{jo}''^{(i)} - v_{jo}'''^{(i)}}{2v_j^{(i)} (v_j^{2(i)} - u_j^{2(i)})}. \end{aligned} \quad (10)$$

Подставляя (10) в (8), получаем систему линейных уравнений, которая в матричной форме будет иметь вид

$$\mathbf{AZ} + \mathbf{B} = \mathbf{0}, \quad (11)$$

где **A** – квадратная матрица коэффициентов при неизвестных в системе уравнений; **Z** – вектор неизвестных усилий; **B** – вектор свободных членов системы уравнений.

При повороте на угол $\varphi = 1$ дополнительной моментной связи в узле $(j + 1)$ j-го участка стержня рамы вектор **B** будет включать следующие элементы

$$\mathbf{B} = [0, \varphi, 0], \quad (12)$$

а вектор

$$\mathbf{Z} = [M_{jo}^{(i)}, Q_{jo}^{(i)}, \tau_{jo}^{(i)}]. \quad (13)$$

При этом граничные условия для концов защемленного j-го участка стержня рамы (в случае свободно сдвигающихся торцов) будут иметь вид

$$\begin{aligned} &v_{jo}^{(i)} = 0, \; v_{jo}'^{(i)} = 0, \; v_{jo}''^{(i)} = M_{jo}^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)}, \\ &v_{jo}'''^{(i)} = (\tau_{jo}^{(i)} c - Q_{jo}^{(i)}) / C_{xj}^{equ(i)}, \; T_{jo}^{(i)} = 0, \\ &v_{j,lj}^{(i)} = 0, \; v_{j,lj}'^{(i)} = \phi, \\ &v_{jl}''^{(i)} = (M_{jo}^{(i)} - Q_{jo}^{(i)} l_j) / C_{xj}^{equ(i)}, \; T_{jl}^{(i)} = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

где $T_{jo}^{(i)}$ и $T_{lj}^{(i)}$ – суммарные сдвигающие усилия в шве j-го участка составного стержня рамы по его концам; $\tau_{jo}^{(i)}$ – погонное сдвигающее усилие в связях сдвига в j-м узле j-го участка составного стержня рамы.

С учетом (11) и (14) уравнения (9) дают систему линейных алгебраических уравнений типа (12), в которой матрица **A** будет включать нижеследующие элементы

$$A_{11j}^{(i)} = (-V_{1j}^{(i)} e_{1j}^{(i)} + U_{1j}^{(i)} e_{2j}^{(i)}) / w_j^{(i)} + 1 / N_j^{(i)},$$

$$A_{12j}^{(i)} = (-V_{1j}^{(i)} u_j^{-1(i)} e_{1j}^{(i)} + U_{1j}^{(i)} v_j^{-1(i)} e_{2j}^{(i)}) / w_j^{(i)} - l_j / N_j^{(i)},$$

$$A_{13j}^{(i)} = c(u_j^{-1(i)} e_{3j}^{(i)} - v_j^{-1(i)} e_{4j}^{(i)}) / C_{xj}^{equ(i)} w_j^{(i)},$$

$$A_{21j}^{(i)} = (V_{1j}^{(i)} u_j^{(i)} e_{3j}^{(i)} - U_{1j}^{(i)} v_j^{(i)} e_{2j}^{(i)}) / w_j^{(i)},$$

$$A_{22j}^{(i)} = (V_{1j}^{(i)} e_{1j}^{(i)} - U_{1j}^{(i)} e_{2j}^{(i)}) / w_j^{0i} - 1 / N_j^{(i)},$$

$$A_{23j}^{(i)} = -c(e_{1j}^{(i)} - e_{2j}^{(i)}) / C_{xj}^{equ(i)} w_j^{(i)} / N_j^{(i)},$$

$$A_{31j}^{(i)} = (-V_{1j}^{(i)} u_j^{2(i)} e_{3j}^{(i)} - U_{1j}^{(i)} v_j^{2(i)} e_{4j}^{(i)}) / w_j^{(i)} - 1 / C_{xj}^{equ(i)}, \quad (15)$$

$$A_{32j}^{(i)} = (-V_{1j}^{(i)} u_j^{(i)} e_{3j}^{(i)} - U_{1j}^{(i)} v_j^{(i)} e_{4j}^{(i)}) / w_l^{(i)} + l_j / C_{xj}^{equ(i)},$$

$$A_{33j}^{(i)} = c(u_j^{(i)} e_{3j}^{(i)} - v_j^{(i)} e_{4j}^{(i)}) / C_{xj}^{equ(i)} w_j^{(i)} / N_j^{(i)},$$

где

$$V_{1j}^{(i)} = v_j^2 + N_j^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)}, \; U_{1j}^{(i)} = u_j^2 + N_j^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)},$$

$$e_{1j}^{(i)} = e^{(-k_{1j}^{(i)} l_j)} + e^{(k_{1j}^{(i)} l_j)}, \; e_{2j}^{(i)} = e^{(-k_{2j}^{(i)} l_j)} + e^{(k_{2j}^{(i)} l_j)}, \quad (16)$$

$$e_{3j}^{(i)} = e^{(-k_{1j}^{(i)} l_j)} - e^{(k_{1j}^{(i)} l_j)}, \; e_{4j}^{(i)} = e^{(-k_{2j}^{(i)} l_j)} - e^{(k_{2j}^{(i)} l_j)},$$

$$w_j^{(i)} = 2(v_{1j}^{2(i)} - u_{1j}^{2(i)}) N_j^{(i)}.$$

При линейном перемещении дополнительной связи в узле (j + 1) при ($z_j = l_j$) на величину $\delta = 1$ перпендикулярно оси j-го участка стержня рамы будут справедливы следующие граничные условия (в случае свободно сдвигающихся торцов этого участка стержня рамы):

$$v_{jo}^{(i)} = 0, \; v_{jo}'^{(i)} = 0, \; v_{jo}''^{(i)} = M_{jo}^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)},$$

$$v_{jo}'''^{(i)} = (\tau_{jo}^{(i)} c - Q_{jo}^{(i)}) / C_{xj}^{equ(i)}, \; T_{jo}^{(i)} = 0, \quad (17)$$

$$v_{j,lj}^{(i)} = \delta, \; v_{j,lj}'^{(i)} = 0,$$

$$v_{j,lj}''^{(i)} = (M_{jo}^{(i)} - Q_{jo}^{(i)} l_j - N_j^{(i)} \delta) / C_{xj}^{equ(i)}, \; T_{j,lj}^{(i)} = 0.$$

Определение реакций в дополнительных связях осуществляется аналогично вышеизложенному для случая поворота дополнительной связи с координатой $z_j = l_j$ на угол $\varphi = 1$.

Если j-й участок составной стержня рамы при $z_j = l_j$ шарнирно оперт, то при повороте дополнительной моментной связи в j-м узле на угол $\varphi = 1$ граничные условия (в случае свободно сдвигающихся торцов стержня) будут иметь вид

$$v_{jo}^{(i)} = 0, \; v_{jo}'^{(i)} = \phi, \; v_{jo}''^{(i)} = M_{jo}^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)},$$

$$v_{jo}'''^{(i)} = (\tau_{jo}^{(i)} c - Q_{jo}^{(i)} - N_j^{(i)} \phi) / C_{xj}^{equ(i)}, \; T_{jo}^{(i)} = 0, \quad (18)$$

$$v_{j,l_j}^{(i)} = 0, \; v_{j,lj}''^{(i)} = 0, \; T_{j,lj}^{(i)} = 0.$$

При линейном перемещении дополнительной связи в узле (j + 1) при ($z_j = l_j$) на $\delta = 1$ перпендикулярно оси j-го участка стержня, шарнирно опертого при $z_j = l_j$, граничные условия (в случае свободно сдвигающихся торцов этого стержня) будут

$$v_{jo}^{(i)} = 0, \; v_{jo}'^{(i)} = 0, \; v_{jo}''^{(i)} = M_{jo}^{(i)} / C_{xj}^{equ(i)},$$

$$v_{jo}'''^{(i)} = (\tau_{jo}^{(i)} c - Q_{jo}^{(i)}) / C_{xj}^{equ(i)}, \; T_{jo}^{(i)} = 0, \quad (19)$$

$$v_{j,lj}^{(i)} = \delta, \; v_{j,lj}''^{(i)} = 0, \; T_{j,lj}^{(i)} = 0.$$

С учетом (18) и (19) решается система уравнений (9) аналогично тому, как это было показано для j-го участка составного стержня с жестко защемленными концами.

Перемещения узлов стержня рамы $Z_{1j}^{(i)}$ и $Z_{2j}^{(i)}$ определяются из совместного решения уравнений

$$\sum_{r=1}^{m} (R_{1j1r}^{(i)} Z_{1r}^{(i)} + R_{1j2r}^{(i)} Z_{2r}^{(i)}) + R_{1jp}^{(i)} + R_{1j\delta_o}^{(i)} + R_{1j\phi_o}^{(i)} = 0, \quad (20)$$

$$\sum_{r=1}^{m} (R_{2j1r}^{(i)} Z_{1r}^{(i)} + R_{2j2r}^{(i)} Z_{2r}^{(i)}) + R_{2jp}^{(i)} + R_{2j\delta_o}^{(i)} + R_{2j\phi_o}^{(i)} = 0, \quad (21)$$

где $R_{1j1r}^{(i)}$ и $R_{1j2r}^{(i)}$ – реакции в связях 1j основной системы метода деформаций от единичного перемещения связей 1r и 2r, определенные с учетом влияния продольных сил на i-м шаге нагружения; $R_{2j1r}^{(i)}$ и $R_{2j2r}^{(i)}$ – то же, но в связях 2j; $R_{1jp}^{(i)}$ и $R_{2jp}^{(i)}$ – реакции в связях 1j и 2j от внешней нагрузки на i-м шаге нагружения, определенные с учетом влияния продольных сил на i-м шаге нагружения; $R_{1j\delta_o}^{(i)}$ и $R_{2j\delta_o}^{(i)}$ – реакции в связях 1j и 2j от поступательного смещения опор на i-м шаге нагружения, определенные с учетом влияния продольных сил на i-м шаге нагружения; $R_{1j\phi_o}^{(i)}$ и $R_{2j\phi_o}^{(i)}$ – реакции в связях 1j и 2j от углового смещения опор на i-м шаге нагружения, определенные с учетом влияния продольных сил на i-м шаге нагружения; m – число узлов с введенными дополнительными связями.

Найденные усилия на опорах j-го стержня при $\varphi = 1$ и $\delta = 1$ далее используются как реакции в связях $R_{1j1r}^{(i)}$, $R_{1j2r}^{(i)}$, $R_{2j1r}^{(i)}$ и $R_{2j2r}^{(i)}$ в уравнениях (20) и (21).

Деформационный расчет рамы осуществляется с использованием эквивалентного модуля деформаций $E_{j\upsilon}^{equ(i)}$, величина которого вычисляется на каждом следующем шаге расчета по результатам, полученным на предыдущем шаге расчета [3]. Значения параметров, характеризующих напряженно-деформированное состояние рамной системы, найденные на i-м шаге нагружения, могут быть в дальнейшем использованы для проверки устойчивости сжато-изогнутых рам методом профессора Р. С. Санжаровского [5].

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биргер И. А. Общие алгоритмы решения задач теории упругости, пластичности и ползучести // Успехи механики деформируемых сред. М.: Наука, 1975. С. 61–73.
2. Ржаницын А. Р. Составные стержни и пластинки. М.: Стройиздат, 1986. 314 с.
3. Рочев А. А. Алгоритм нелинейного расчета круговой составной арки // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2010. № 2 (107). С. 25–29.
4. Рочев А. А. Нелинейная теория расчета сквозных упругопластических статически неопределимых рамных систем // Доклады 58-й конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета: В 3 ч. Ч. 1. СПб.: СПбГАСУ, 2001. С. 93–94.
5. Санжаровский Р. С. Устойчивость элементов строительных конструкций при ползучести. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 280 с.

Rochev A. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

CALCULATION OF PLANE FRAMES OF INELASTIC CONSTITUENTS

Calculation of the plane frame systems' deformation is considered. Under non-linear load, translational and angular misalignment of the frames is obtained. Elements of the frames are inelastic component rods with variable cross sections and variable stiffness along the length of their shear ties. The solution is based on A. R. Rzhanitsina's theory of elastic composite bars. Statically indeterminate frame is disclosed by the method of deformation. Stiffness of constituent elements is determined by the expression determining the equivalent of deformation coefficient, which was previously obtained by the author. The expression takes into account compressibility of the branches, shear deformation of the branches' material, development of inelastic deformation in them.

Key words: flat frame, inelastic composite rods, the strain calculation, the equivalent deformation module

REFERENCES

1. Birger I. A. Common algorithms for solving problems in the theory of elasticity, plasticity and creep [Obshchie algoritmy resheniya zadach teorii uprugosti, plastichnosti i polzuchesti]. *Uspekhi mekhaniki deformiruemykh sred*. Moscow, Nauka Publ., 1975. P. 61–73.
2. Rzhanitzin A. R. *Sostavnye sterzhni i plastinki* [Composite rods and plates]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 314 p.
3. Rochev A. A. Algorithm for non-linear analysis of circular composite arch [Algoritm nelineynogo rascheta krugovoy sostavnoy arki]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Ser. "Natural and engineering sciences"]. 2010. № 2 (107). P. 25–29.
4. Rochev A. A. Nonlinear theory of elastic through calculation of statically indeterminate frame systems [Nelineynaya teoriya rascheta skvoznykh uprugoplasticheskikh neopredelimykh ramnykh sistem]. *Doklady 58-y konferentsii professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta* [Proceedings of the 58th Conference of professors, teachers, researchers, engineers and graduate students]. In 3. Part 1. St. Petersburg, 2001. P. 93–94.
5. Sanzharovskiy R. S. *Ustoychivost' elementov stroitel'nykh konstruktsiy pri polzuchesti* [Stability of structural elements under creep]. Leningrad, LGU Publ., 1984. 280 p.

Поступила в редакцию 08.11.2013

Март, № 2 **Технические науки** **2014**

УДК 631:533

ЕВГЕНИЙ АНДРИЯНОВИЧ ТИХОНОВ
кандидат технических наук, доцент кафедры механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
tihonov@psu.karelia.ru

АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ ТИХОМИРОВ
кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
sansa.82@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОТНОСТИ ВОДНОГО РАСТВОРА ПРИ ОБРАБОТКЕ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ ПЛАЗМОЙ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ*

Одним из перспективных направлений повышения эффективности сельскохозяйственной деятельности является внедрение инновационных технологий, находящихся на стыке наук. Так, в физике широко известны технологии и методы получения переохлажденной плазмы, которая применяется в различных отраслях промышленности. Известны обеззараживающие и катализирующие свойства плазмы. Переохлажденная плазма обладает огромным потенциалом для применения ее в сельском хозяйстве при условии глубоко проработанных технологий использования. В статье представлены предварительные исследования, подтверждающие изменение кислотности водных растворов при обработке их переохлажденной плазмой, а также исследования, выполненные в области электрохимической обработки водных растворов. Дается постановка эксперимента, описываются применяемые методы и оборудование. Экспериментальные данные показали повышение кислотности водных растворов от pH 6,93 до pH 6,51 при различных параметрах обработки (контроль pH 7,6). Выяснено, что средняя мощность обработки оказывает значимое влияние на кислотность, тогда как начальное напряжение пробоя – нет. Определено, что данные факторы не оказывают влияния на скорость изменения кислотности во времени.

Ключевые слова: переохлажденная плазма, прикладные исследования, кислотность, вода, экспериментальные исследования

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко известны методы повышения посевных качеств сельскохозяйственных культур, основанные на электрохимической активации воды [1], [2], [3]. При такой обработке получают либо анолит, либо католит. Данные водные растворы имеют весьма широкий диапазон кислотности (от pH 3 до pH 10). Для их получения применяют электрохимические реакторы [4], [5]. Принцип работы данных устройств – электролиз воды с получением растворов с различной кислотностью. Как правило, электрохимический реактор состоит из двух камер (анодной или катодной), в этих камерах воду подвергают обработке и за счет преобразования содержащихся в ней растворенных веществ превращают в высокоактивный раствор кислот и окислителей или щелочей и восстановителей [6].

Существуют и другие способы изменения свойств воды для применения ее в сельском хозяйстве. Одним из таких методов является обработка воды переохлажденной плазмой. Переохлажденная плазма – это плазма с температурой видимой части факела 40…42 °C [7]. Подобные температуры позволяют применять этот тип плазмы к живым системам. Например, получены положительные результаты в медицине [8], рыбоводстве [9], растениеводстве [10].

При обработке воды различными типами разрядов: коронным, скользящим и тлеющим [11] – наблюдается подкисление водного раствора. Существует несколько версий причин данного явления: образование оксидов азота в зоне плазмы с их последующим растворением и естественным подкислением раствора [12], образование синглетного кислорода в плазме с дальнейшим растворением в жидкой фазе, неравновесный перенос компонентов раствора в газовую фазу, накопление перекисных и надперекисных соединений [2]. В нашей работе получены количественные оценки изменения кислотности водного раствора при обработке переохлажденной плазмой различных параметров, а также динамическое изменение данного показателя во времени.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для определения кислотности растворов применяют водородный показатель pH. Существует несколько методов его определения: кислотно-щелочная индикация, универсальная

© Тихонов Е. А., Тихомиров А. А., 2014

индикация, ионометрический и аналитический объемный методы. Для определения pH водного раствора нами был применен ионометрический метод с использованием pH-метра Аквилон pH-410. Абсолютная погрешность данного прибора при определении pH составляет 0,01.

В проведенных исследованиях использовалась экспериментальная установка генерации переохлажденной плазмы, разработанная авторами. На установку подана заявка на патент и получено положительное решение о выдаче (№ 202013110894/07 (016160)). Данная установка представляет собой сложную высоковольтную электрическую машину, которая позволяет генерировать плазменный разряд в проточной воде.

Установка имеет ряд варьируемых параметров, которые позволяют получать разряд различной интенсивности. В данном случае был поставлен двухфакторный эксперимент, в котором регулировались средняя мощность обработки и начальное напряжение пробоя. Такие показатели, как межэлектродное расстояние и расход воды, оставались неизменными и составили 6 мм и 1,14 л/мин соответственно. Мощность самой установки – 2 кВт. Обработанные образцы анализировались в течение 48 часов, интервал измерения 0,5 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования показали, что изменение выбранных факторов оказывает значительное влияние на кислотность исследуемого водного раствора. Начальная кислотность образцов представлена в табл. 1. Контрольное значение кислотности водного раствора – pH 7,6.

Для анализа результатов сгруппируем их по факторам (рис. 1).

Как видно из рис. 1, фактор B оказывает куда более значимое влияние на кислотность водного раствора. При этом фактор A оказывает значительное влияние на получение разряда в разрядной камере. Чем меньше данный фактор, тем сложнее инициировать разряд. Таким образом, для регулировки интенсивности обработки водных растворов переохлажденной плазмой достаточно изменять среднюю мощность обработки, а начальное напряжение пробоя использовать для создания наилучших условий инициации разряда в разрядной камере.

Таблица 1

Значения начальной кислотности исследуемых образцов

Фактор A (начальное напряжение пробоя воды, кВ)	Фактор B (средняя мощность обработки воды, кВА)	pH	Абсолютная погрешность
40	1600	6,51	0,01
	800	6,81	
	0,4	6,91	
26	1600	6,61	
	800	6,83	
	0,4	6,86	
12	1600	6,61	
	800	6,8	
	0,4	6,93	

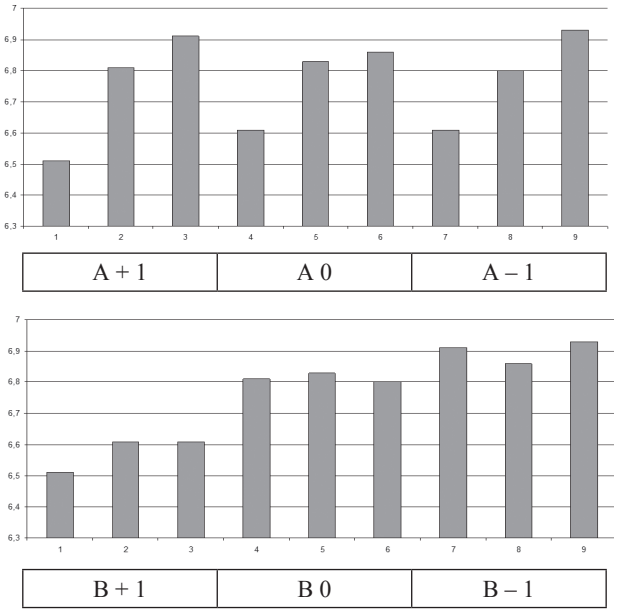


Рис. 1. Группировка результатов по факторам

Так как при любой электрохимической обработке раствор выходит из равновесного состояния, то после прекращения подвода энергии он стремится вернуться к состоянию наименьшей энтропии. Поэтому необходимо определить продолжительность времени, в течение которого обработанный водный раствор будет сохранять свойства, отличные от необработанного раствора. Для получения данной информации мы исследовали изменение кислотности варианта A + 1 B + 1 в течение 96 часов. График изменения представлен на рис. 2.

Анализ зависимости выявил некоторые особенности. На графике отчетливо видны пики увеличения кислотности. При этом они повторяются ровно через 24 часа, постепенно смещаясь на более раннее время. Как показал анализ процесса захвата данных pH-метра, в момент увеличения кислотности на колбу с раствором попадали прямые солнечные лучи, лишенные ультрафиолетовой части спектра (предварительно прошедшие

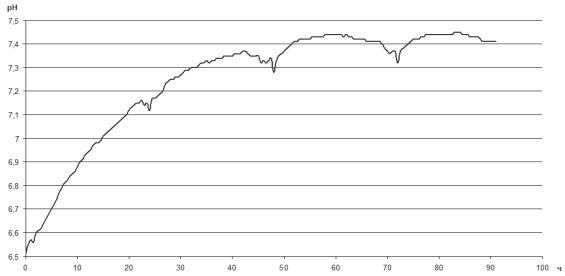


Рис. 2. Изменение кислотности образца A + 1 B + 1

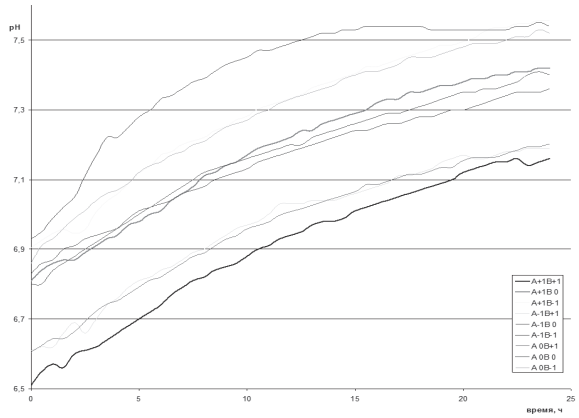


Рис. 3. Изменение кислотности образцов в течение 24 часов

Таблица 2

Результаты аппроксимации

Образец	pH (t)	pH′ (t)	Достоверность, R^2
A + 1 B + 1	0,0274t + 6,5724	0,0274	0,9741
A 0 B + 1	0,0248t + 6,667	0,0248	0,9647
A – 1 B + 1	0,0274t + 6,6739	0,0247	0,9500
A + 1 B 0	0,0263t + 6,8647	0,0263	0,9654
A 0 B 0	0,0213t + 6,8929	0,0213	0,9722
A – 1 B 0	0,0242t + 6,8756	0,0242	0,9594
A + 1 B – 1	0,0274t + 6,9647	0,0274	0,9628
A 0 B – 1	0,0258t + 6,9764	0,0258	0,9543
A – 1 B – 1	0,0221t + 7,1371	0,0221	0,7614

через стекло). Данное обстоятельство говорит о том, что при обработке растений в полевых условиях возможно влияние погоды на результат обработки. В дальнейшем измерения проводились с использованием непрозрачных емкостей.

Технология применения воды, обработанной холодной плазмой, подразумевает минимизацию периода времени между обработкой воды и ее применением. Приведем графики изменения кислотности всех образцов в течение первых 24 часов (рис. 3).

Как видно из графиков, скорость изменения кислотности отличается незначительно. Так как зависимости близки к линейным, выполним линейную аппроксимацию. Результаты аппроксимации представлены в табл. 2. Как выяснилось, существенного влияния на скорость изменения кислотности режимы обработки не оказывают.

Таким образом, для управления уровнем кислотности обрабатываемого водного раствора следует использовать среднюю мощность обработки (фактор B). При этом начальное напряжение пробоя (фактор A) использовать для устойчивой инициации и стабилизации разряда в разрядной камере.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В 2012 и 2013 годах в ПетрГУ были выполнены исследования по выявлению влияния воды, обработанной переохлажденной плазмой, на посевной материал и меристемные растения картофеля [7]. Урожайность и интенсивность роста образцов удалось увеличить на 13 % и 43 % соответственно. Для понимания причин подобных эффектов необходимо выяснить изменения, происходящие с водным раствором при обработке переохлажденной плазмой. Первый признак подобных изменений – изменение кислотности. Изменение кислотности водного раствора является лишь индикатором того, что в нем произошли химико-структурные изменения, и не является самоцелью. Данный факт подтверждает наличие влияния обработки переохлажденной плазмой на водный раствор. Также удалось определить, какие параметры генерации переохлажденной плазмы оказывают значимое влияние на первичную кислотность (средняя мощность обработки), а какие – нет (начальное напряжение пробоя). В процессе исследования изменения кислотности во времени было выяснено, что параметры обработки не влияют на скорость изменения кислотности. Для того чтобы выяснить, какие именно изменения произошли, необходимо выполнить ряд исследований, направленных прежде всего на определение наличия в водном растворе различных химических соединений, которые могут оказывать непосредственное влияние на живые системы.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абезин В. Г., Карпунин В. В. Система капельного орошения с модулем электроактивации оросительной системы // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 6. С. 23–25.
2. Кравченко А. В., Берлизорова С. А., Нестеренко А. Ф., Кублановский В. С. Об изменении свойств воды, подвергшейся низкотемпературному плазменному электролизу // Химия высоких энергий. 2004. Т. 38. № 5. С. 375–379.
3. Лагутин В. В. Совершенствование технологий и технических средств возделывания овощных культур с использованием активированной воды: Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. Волгоград, 2002. 25 с.
4. Патент на полезную модель RU 2370451 C2, МПК CO2F1/461. Реактор для электрохимической обработки жидкости. Футрик С. Н., Демин П. К.
5. Патент на полезную модель RU 2475456 C2, МПК CO2F1/461. Установка для электролиза водно-солевых растворов. Белозеров А. В., Турников М. Н.
6. Писаренко Л. В. Применение плазменных потоков и жизнеспособных кожных аллотрансплантатов в комплексном лечении ран: Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. Волгоград, 2008. 22 с.
7. Тихонов Е. А. Исследование влияния обработки посадочного материала картофеля водой, обработанной переохлажденной плазмой, на интенсивность роста и урожайность // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар: КубГАУ, 2013. № 85 (01). С. 325–335 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2013/01/pdf/25.pdf
8. Ткачев А. Н., Яковенко С. И. Предельно неидеальная метастабильная переохлажденная плазма // Журнал технической физики. 1997. Т. 67. № 8. С. 42–53.
9. Трошенкова С. А., Хлюстова А. В., Максимов А. И. Влияние тлеющего разряда с электролитным катодом на свойства раствора // Сборник материалов III Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии. Иваново, 2002. Т. 1. С. 352–354.
10. Харченко О. В. Влияние электрохимически активированной воды на посевные качества семян зерновых и бобовых культур и продуктивность ярового ячменя на светло-каштановых почвах Волгоградской области: Автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. Волгоград, 2008. 22 с.
11. Хлюстова А. В. Процессы переноса компонентов раствора I–I электролитов в системе плазма-раствор: Автореф. дисс. … канд. хим. наук. Иваново, 2004. 24 с.
12. Храпенков С. Н., Гернет М. В., Бахир В. М. Воздействие электрохимически активированных систем на ферменты солода // Пиво и напитки. 2002. № 5. С. 20–21.

Tikhonov E. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Tikhomirov A. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

WATER SOLUTION ACIDITY CHANGE CAUSED BY COLD PLASMA TREATMENT

An agroindustrial complex and agriculture as a whole play a strategically significant role for national food security of any country. Introduction of innovative technologies combining achievements of several branches of human knowledge could lead to agro production efficiency increase. In particular, cold plasma production technology, which is widely used in various industries, can be successfully applied by industries dealing with living systems. Aseptic and catalytic properties of such plasma are well-known. Cold plasma has an enormous potential if properly and efficiently applied in agriculture. This article describes the investigations confirming the fact that the acidity of water solutions changes when it is treated by cold plasma. Investigations of electrochemical treatment of water solutions are briefly described, in particular, equipment and technique of the experiment. Experimental data show that water solutions' acidity grew from pH 6,93 to 6,51 with varying treatment parameters (control value pH 7,6). The mean power of treatment was found to significantly affect the acidity while initial sparking voltage does not produce such effects. These factors do not affect the rate of acidity change with time. The experimental results allow us to make a conclusion that further investigations of changes in water solutions treated by cold plasma are necessary.

Key words: cold plasma, applied researches, application perspectives, acidity, water, experimental investigations

REFERENCES

1. Abezin V. G., Karpunin V. V. Trickle irrigation system with electro-activating module [Sistema kapel'nogo orosheniya s modulem elektroaktivatsii orositel'noy sistemy]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2007. № 6. P. 23–25.
2. Kravchenko A. V., Berlizorova S. A., Nesterenko A. F., Kublanovskiy V. S. About water property changes which was treated by low-temperature plasma electrolyze [Ob izmenenii svoystv vody, podvergsheysya nizkotemperaturnomu plazmennomu elektrolizu]. *Khimiya vysokikh energiy*. 2004. Vol. 38. № 5. P. 375–379.
3. Lagutin V. V. *Sovershenstvovanie tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv vozdelyvaniya ovoshchnykh kul'tur s ispol'zovaniem aktivirovannoy vody: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* [Improvement of technologies and equipment for vegetables' production with activated water usage: author's abstract of PhD. agr. sci. diss.]. Volgograd, 2002. 25 p.
4. Patent RU 2370451 C2, MPK CO2F1/461. *Reaktor dlya elektrokhimicheskoy obrabotki zhidkosti* [Reactor for liquid electrochemical treatment]. Futrik S. N., Demin P. K.
5. Patent RU 2475456 C2, MPK CO2F1/461. *Ustanovka dlya elektroliza vodno-solevykh rastvorov* [Device for water-salt solutions' reatment]. Belozerov A. V., Turnikov M. N.
6. Pisarenko L. V. *Primenenie plazmennykh potokov i zhiznesposobnykh kozhnykh allotransplantatov v kompleksnom lechenii ran. Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* [Plasma flows and viable skin allograft application in wounds' complex cure: author`s abstract of phd dissertation]. Volgograd, 2008. 22 p.
7. Tikhonov E. A. Investigation of influence of cold plasma treatment on potato planting stock on growth intensity and yeld [Issledovanie vliyaniya obrabotki posadochnogo materiala kartofelya vodoy, obrabotannoy pereokhlazhdennoy plazmoy, na intensivnost' rosta i urozhaynost']. *Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* (Nauchnyy zhurnal KubGAU). Krasnodar, KubGAU Publ., 2013. № 85 (01). P. 325–335. Available at: http://ej.kubagro.ru/2013/01/pdf/25.pdf
8. Tkachev A. N., Yakovenko S. I. Extreme unideal meta-stabile undercooled plasma [Predel'no neideal'naya metastabil'naya pereokhlazhdennaya plazma]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. 1997. T. 67. № 8. P. 42–53.
9. Troshenkova S. A., Khlyustova A. V., Maksimov A. I. Smoulder discharge with electrolyte cathode influence on solution properties [Vliyanie tleyushchego razryada s elektrolitnym katodom na svoystva rastvora]. *Sbornik materialov III Mezhdunarodnogo simpoziuma po teoreticheskoy i prikladnoy plazmokhimii*. Ivanovo, 2002. Vol. 1. P. 352–354.
10. Kharchenko O. V. *Vliyanie elektrokhimicheski aktivirovannoy vody na posevnye kachestva semyan zernovykh i bobovykh kul'tur i produktivnost' yarovogo yachmenya na svetlo-kashtanovykh pochvakh Volgogradskoy oblasti: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* [Electrochemical activated water influence on sowing properties of grain and babaceous crops and spring barley productivity on Volgogradskaya region light chestnut soils: author`s abstract of PhD agr. sci. diss.]. Volgograd, 2008. 22 p.
11. Khlyustova A. V. *Protsessy perenosa komponentov rastvora I–I elektrolitov v sisteme plazma-rastvor: Avtoref. diss. ... kand. khim. nauk* [I-I electrolytes solution components' transfer processes in plasma-solution system: author's abstract of PhD. chem. sci. diss.]. Ivanovo, 2004. 24 p.
12. Hrapenkov S. N., Gernet M. V., Bahir V. M. Electrochemical activated systems influence on malt ferments [Vozdeystvie elektrokhimicheski aktivirovannykh sistem na fermenty soloda]. *Pivo i napitki*. 2002. № 5. P. 20–21.

Поступила в редакцию 02.10.2013

Март, № 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 538.935:621.382

ВЛАДИМИР ПАНТЕЛЕЙМОНОВИЧ МАЛИНЕНКО
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vmal@psu.karelia.ru

АЛЕКСАНДР ЛИОНОВИЧ ПЕРГАМЕНТ
доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационно-измерительных систем физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
aperg@psu.karelia.ru

АЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ ГОРБАКОВ
магистр техники и технологии кафедры физики твердого тела физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
akeldema@gmail.com

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ МОЛИБДЕНА*

Тонкие пленки оксида молибдена получены методами термического вакуумного испарения и анодного окисления. Представлены результаты рентгеноструктурного анализа, исследования оптических и электрофизических свойств. Показано, что исходный оксид, получаемый осаждением в вакууме, представляет собой аморфный MoO_3. В структурах металл-оксид-металл (МОМ) с пленками оксидов Mo, полученных обоими способами, обнаружен эффект электрического переключения с S-образной ВАХ. Обосновывается гипотеза, согласно которой механизм переключения связан с развитием электрической неустойчивости, обусловленной переходом изолятор-металл в Mo_8O_{23}. Канал переключения, содержащий данный оксид низшей валентности, образуется в исходной пленке в процессе электрической формовки МОМ-структуры.

Ключевые слова: эффект переключения, переход металл-изолятор, оксиды молибдена

ВВЕДЕНИЕ

Оксиды переходных металлов (ОПМ) представляют один из наиболее перспективных классов веществ с точки зрения их использования для конструирования элементов электронной техники [12]. Система молибден-кислород, как и большинство ОПМ, образует плеяду оксидов с переменной валентностью катиона, которая характеризуется разнообразными структурными состояниями и физико-химическими свойствами [10], [17]. Основными бинарными оксидами, которые образует молибден, являются MoO_2 и MoO_3.

Диоксид молибдена кристаллизуется в моноклинной структуре, образованной бесконечными цепочками искаженных октаэдров MoO_6, соединенных гранями между собой за счет сил Ван-дер-Ваальса. Триоксид молибдена MoO_3 имеет слоистый тип структуры, основным составным элементом которой является двойной октаэдр со связующим звеном MoO_6 (рис. 1) [17], [22]. Триоксид молибдена имеет несколько полиморфных модификаций, из которых наиболее термодинамически стабильной является α-MoO_3 (пространственная группа *Pnma*). При понижении отношения содержания кислорода к содержанию металла ниже 2,9 может образоваться один из семи стабильных или метастабильных субоксидов: $Mo_{18}O_{52}$, Mo_9O_{26}, Mo_8O_{23}, Mo_5O_{14}, $Mo_{17}O_{47}$, η-Mo_4O_{11} и γ-Mo_4O_{11} [22].

Стехиометрический MoO_3 является диэлектриком с шириной запрещенной зоны ~3 эВ [10]. При восстановлении оксида путем создания дефицита кислорода или введением атомов донорной примеси возникают дополнительные донорные уровни у дна зоны проводимости, следовательно, восстановленный оксид ведет

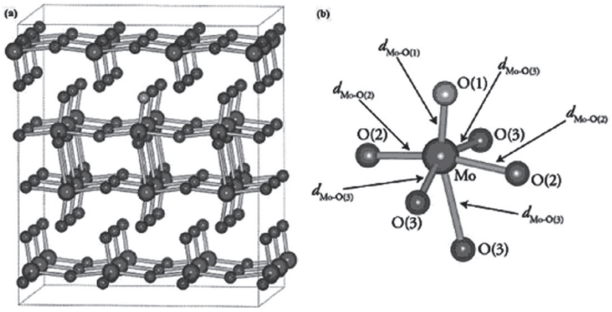


Рис. 1. a – кристаллическая структура орторомбического MoO_3, демонстрирующая слоистость структуры вдоль направления (010); b – искаженный октаэдр MoO_6

© Малиненко В. П., Пергамент А. Л., Горбаков А. О., 2014

себя как полупроводник. Поликристаллический MoO_3, так же как и монокристалл, имеет серо-желтую окраску и наименьшую величину края поглощения при 440 нм, что соответствует наименьшему значению ширины запрещенной зоны в 2,8 эВ [25], таким образом, ширина запрещенной зоны зависит от кристаллического состояния и стехиометрии. Значение проводимости оксидов молибдена варьируется от диэлектрического у MoO_3 к полупроводниковому у $Mo_{18}O_{52}$ (удельное сопротивление ρ = 78,1 Ом·см) и вплоть до металлического, как у η-Mo_4O_{11} ($\rho = 1{,}66 \times 10^{-4}$ Ом·см) [25]. Диоксид молибдена также проявляет металлические свойства [10], [25] (для объемных образцов $\rho = 8{,}8 \times 10^{-5}$ Ом·см при комнатной температуре [17]).

Благодаря своим особым физико-химическим свойствам оксиды молибдена могут найти применение в таких устройствах электронной техники, как электрохромные индикаторы и дисплеи, обратимые катоды литиевых батарей, газовые сенсоры, элементы памяти и др. [17], [22]. Так, резистивное переключение с памятью в структурах на основе оксидов Mo наблюдалось в целом ряде работ [5], [14], а эффекты фото- и электрохромизма в MoO_3 описаны в [2], [15].

В некоторых оксидах молибдена и родственных соединениях наблюдаются также фазовые переходы металл-изолятор (ПМИ). В частности, в Mo_8O_{23} имеет место двухстадийный структурный ПМИ с образованием волн зарядовой плотности (ВЗП) при T_{c1} = 315 К и T_{c2} = 285 К [13], а в η-Mo_4O_{11} – аналогичный переход при температурах соответственно 109 и 35 К [24]. Отметим также сообщения относительно ПМИ Мотта в $R_2Mo_2O_7$ (где R – редкоземельный элемент) [18], перехода Пайерлса в квазиодномерной калий-молибденовой бронзе $K_{0.3}MoO_3$ [16] и электронно-индуцированного ПМИ в квазидвумерном однослойном сульфиде молибдена MoS_2 [21]. В работе [23] обнаружен ПМИ при T_c = 380 К, связанный с упорядочением водорода в бронзе $H_{0.33}MoO_3$, в отличие от бронз A_xMoO_3 (где A – щелочной металл) и низших оксидов молибдена (то есть упоминавшихся выше Mo_4O_{11} и Mo_8O_{23}), в которых низкотемпературные пайерлсовские переходы обусловлены неустойчивостью поверхности Ферми и образованием ВЗП [8].

Отметим, что электрические неустойчивости типа переключения с памятью наблюдаются во многих ОПМ [3], [14], [20]. Основные обсуждаемые в литературе модели механизма ReRAM (resistive random access memory – резистивная память с произвольной выборкой) в оксидных структурах – это модели роста и разрыва под действием электрического тока металлического шнура в оксидной матрице либо редокс-процессов с образованием высокопроводящих или низкопроводящих локальных включений, отвечающих той или иной кислородной стехиометрии [20]. Таким образом, явление переключения с памятью связано, скорее всего, с ионным транспортом [20], [26]. С другой стороны, для объяснения механизма переключения в структурах на основе ОПМ иногда привлекается также идеология ПМИ [7]. Здесь уместно будет также упомянуть работы, в которых обсуждается эффект памяти в материале с ПМИ (диоксиде ванадия), связанный с наличием гистерезиса в температурной зависимости проводимости [12], [28].

Вместе с тем обусловленное переходом изолятор-металл пороговое моностабильное переключение (то есть без эффекта памяти) также характерно для целого ряда ОПМ [9], [20]. Именно поэтому исследование порогового переключения в оксиде молибдена и его возможной связи с явлением ПМИ представляет значительный научный и практический интерес. В связи с вышесказанным цель данной работы заключалась в изучении электрических свойств тонкопленочных МОМ (металл-оксид-металл) структур на основе оксида молибдена и выявлении основных закономерностей эффекта электрического переключения в них.

МЕТОДИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследуемые образцы тонких пленок оксида молибдена получали двумя способами: анодным оксидированием [1] и термическим напылением в вакууме.

Анодирование молибдена проводили в электролите на основе ацетона, состав которого соответствовал электролиту для анодирования ванадия (22 г бензойной кислоты плюс 40 мл перенасыщенного водного раствора тетраборнокислого натрия на литр ацетона) [6]. Предварительную очистку поверхности молибденовых образцов производили химическим травлением в 5% водном растворе соляной кислоты, после чего тщательно промывали в проточной и дистиллированной воде и сушили в потоке горячего воздуха. После анодирования оксид очень чувствителен к воде и водяным парам. Кроме того, после извлечения образца из ячейки остатки электролита за счет быстрого испарения ацетона агрессивно воздействовали на оксид, формируя неоднородную поверхность. Поэтому после окисления в электролите образцы промывались в чистом ацетоне и быстро высушивались. Анодное окисление проводилось в гальваностатическом режиме, сила тока составляла I_a = 70 мА (при площади окисляемой поверхности ~1 см^2), а время окисления – 5–10 мин. При этом напряжение V_a на электрохимической ячейке росло до значений порядка 30–35 В за первые несколько десятков секунд и выходило на насыщение. Такое необычное поведение V_a (отсутствие линейного роста) и относительно высокие значения I_a могут быть

связаны с высокой электронной проводимостью продукта окисления (в состав которого могут входить низшие оксиды молибдена, например Mo_4O_{11} и MoO_2, с относительно высокой электронной проводимостью) и возможным растворением пленки. Тот факт, что анодный оксид молибдена содержит низшие оксиды, подтверждается экспериментально данными работы [11], где показано, что степень окисления молибдена в анодных оксидных пленках (АОП) меньше +6, и может быть обоснован теоретически с точки зрения термодинамики процесса: образование непредельного оксида MoO_2 является энергетически более выгодным, чем MoO_3 [19].

Напыленные образцы для исследований изготавливали методом термического испарения в вакууме (10^{-4} Торр) тонких слоев MoO_3 на подложке из тантала или стекла для соответственно электрофизических и оптических исследований, используя вакуумный универсальный пост ВУП-5М. Пленка наносилась путем испарения порошка MoO_3 (ЧДА) из специального испарителя закрытого типа, изготовленного из тантала толщиной 0,2 мм. Все подложки подвергались предварительной обработке в спирте, после чего они промывались в дистиллированной воде и сушились, окончательная термическая обработка проводилась непосредственно в рабочей камере установки ВУП-5М, где они нагревались до температуры 400 °С. Толщина напыленных слоев определялась из интерференционных спектров пропускания и отражения и составляла 300–800 нм.

Исследование электрофизических свойств методом вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводилось в сэндвич-геометрии структур с прижимным верхним электродом из Au проволоки, а базовым («нижним») электродом служил подслой молибдена (в случае анодного оксида) или металлический тантал. Образцы предварительно подвергались электроформовке, для чего в течение определенного времени на них подавалось переменное напряжение, близкое к пробивному. Процесс электроформовки и ВАХ после формовки исследовались осциллографическим методом в режиме динамических ВАХ с применением цифрового осциллографа OWON PDS 50226 и записью данных в ПК. Рентгенографические исследования проводились на установке ДРОН-6 при использовании FeK_α-излучения. Измерения спектральных зависимостей коэффициентов отражения и пропускания – с помощью спектрофотометра СФ-56 в диапазоне длин волн 200–1100 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования фазового состава и структуры вакуумно-напыленных образцов методом рентгеноструктурного анализа представлены на рис. 2. Из рентгенограммы видно,

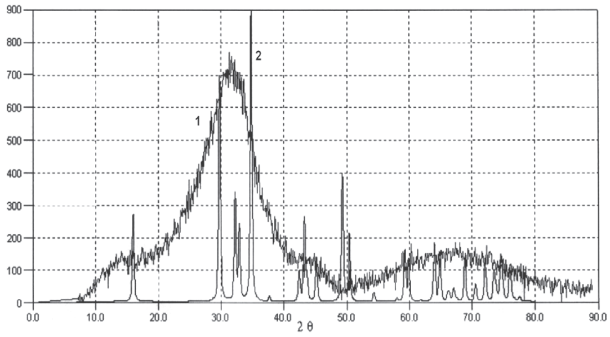


Рис. 2. Рентгенограмма пленки оксида молибдена (1) в сравнении с эталоном (2) кристаллического MoO_3

что положения группы наиболее сильных отражений, наблюдающихся на рентгенограмме кристаллического оксида MoO_3, соответствуют диапазону углов рассеяния, в области которых наблюдается первый диффузный максимум исследуемого аморфного оксида молибдена. Таким образом, полученные образцы представляют собой аморфный MoO_3 с небольшой нестехиометрией по кислороду.

Анодные оксидные пленки на Mo, так же как и напыленные в вакууме, являются аморфными (или аморфно-микрокристаллическими – согласно литературным данным [6]), но их состав соответствует, как говорилось выше, скорее MoO_2, а не высшему оксиду. На рис. 3 показаны спектры отражения и пропускания для одного из образцов. Обработка экспериментальных данных с помощью метода огибающих интерференционных экстремумов [27] позволила установить толщину пленки, которая оказалась равной (620 ± 50) нм, а край поглощения в области $\lambda \approx 400$ нм свидетельствует о том, что фазовый состав оксида соответствует MoO_3 с шириной запрещенной зоны ~3 эВ.

ВАХ исходных структур на основе как анодных, так и напыленных пленок не содержат участков с отрицательным дифференциальным сопротивлением, которые появляются только в результате электрической формовки. При элек-

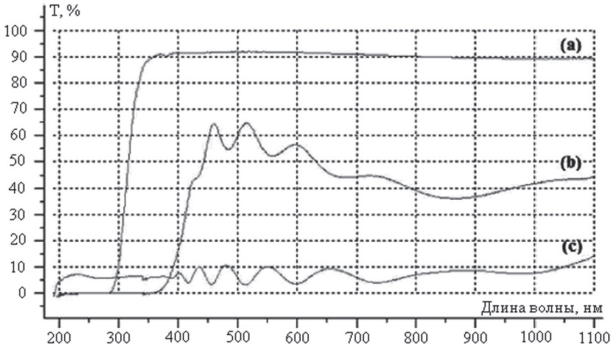


Рис. 3. Спектры образца, полученного методом вакуумного напыления: a) коэффициент пропускания подложки (стекло); b) пропускание; c) отражение пленки оксида молибдена на стекле

троформовке структуры на переменном токе динамика изменения проводимости во время формовки, переход образца в новое высокопроводящее состояние, появление отрицательной дифференциальной проводимости с характерной S-образной ВАХ и устойчивыми параметрами, а также изменение ВАХ при дальнейшем увеличении тока наблюдались на экране осциллографа. На первом этапе формовки ток обычно был ограничен выбором соответствующего последовательно включенного резистора $R_н$ (10^4–10^6 Ом). Скорость развертки амплитуды переменного напряжения при формовке составляла ~10 В/с.

Воздействие на исходные структуры сильного электрического поля (10^6–10^7 В/см) приводит к значительному и необратимому росту проводимости структуры на основе оксида Mo и трансформации ВАХ к S-образному виду. Этот процесс качественно подобен электроформовке в переключателях на основе других ОПМ [20]. Первый этап электроформовки, таким образом, подобен электрическому пробою, в результате которого, однако, при соответствующем ограничении тока после пробоя образуется не обычный канал пробоя (с металлической проводимостью и без каких-либо особенностей на ВАХ), а канал переключения. Появление S-образной ВАХ наблюдается либо непосредственно после этого первого этапа, либо после повторного увеличения тока до нескольких десятков миллиампер. При еще большем увеличении тока ВАХ видоизменяется до полной стабилизации параметров, то есть когда ее форма перестает изменяться при циклическом изменении напряжения. Результатом такой «электротренировки» является стабильная переключательная структура, обладающая ВАХ с отрицательным дифференциальным сопротивлением S-типа и достаточно большим скачком сопротивления (рис. 4).

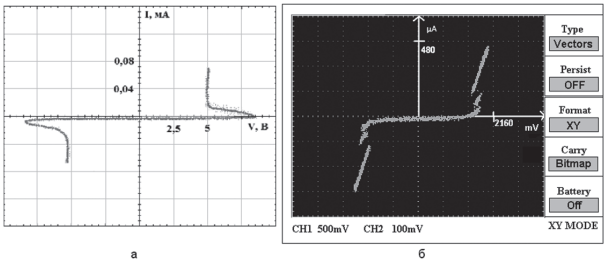


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики МОМ-структур с напыленной (а) и анодной (б) пленками оксида молибдена после их электроформовки. На рисунке (б) напряжение переключения составляет V_{th} = 1,8 В

Кривые ВАХ для напыленных и анодных пленок качественно подобны, однако наблюдается значительное количественное различие в их пороговых параметрах. Так, напряжение переключения V_{th} для АОП составляет ~2 В (рис. 4б), тогда как для пленок, полученных методом термического испарения, V_{th} ~ 10 В (рис. 4а). Такое различие можно объяснить разницей в толщине пленок. Ввиду неоднородности толщины АОП (о чем можно было судить по неоднородности интерференционной окраски), их толщина не измерялась. Однако максимальную (в предположении стопроцентной эффективности реакции анодного окисления) толщину можно оценить из закона Фарадея [1]:

$$d = \frac{\mu\, I_a\, t}{4e\rho\, S\, \mathrm{F}}, \qquad (1)$$

где μ = 128 г/моль и ρ = 6,5 г/см^3 – это соответственно молярная масса и плотность MoO_2, а e и F – элементарный заряд и число Фарадея. Для I_a = 70 мА и t = 10 мин. из (1) получаем d ~ 20 нм, что существенно меньше соответствующего значения для напыленных пленок, а в результате и пороговое напряжение для АОП меньше.

Отметим, что в отличие от большинства других ОПМ процесс электроформовки в структурах на основе Mo был затруднен, так же как, например, и в структурах на основе оксида марганца [4], то есть зачастую происходил обычный электрический пробой, а не формирование канала переключения. При этом для пленок, полученных методом вакуумного напыления, процесс электроформовки и переключение отличались бóльшей стабильностью, что позволило в этом случае проследить динамику трансформации ВАХ при изменении температуры. Оказалось, что с ростом T пороговое напряжение уменьшается, происходит вырождение участка отрицательного сопротивления в области $T = T_0$ ~ 300–320 K, и при еще более высоких температурах переключение исчезает (рис. 5).

Известно [9], что при формовке происходит образование под электродом канала переключения за счет кристаллизации и частичного вос-

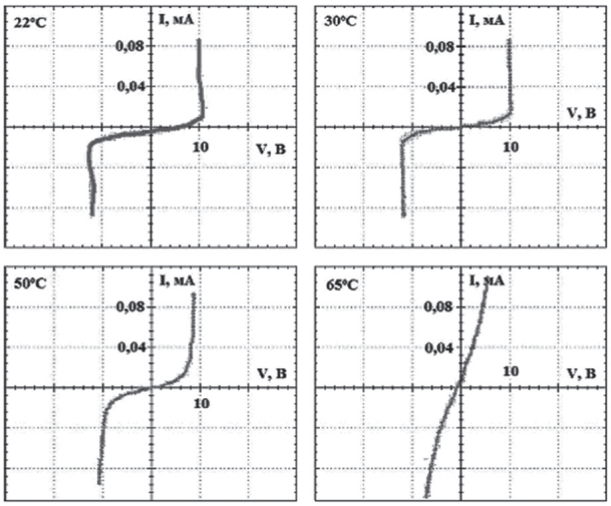


Рис. 5. ВАХ структур Ta–MoO_x–Au при различных температурах

становления исходного оксида. В случае электроформовки структур на основе оксидов V, Nb, Ti и Fe наиболее энергетически выгодным (с точки зрения минимума энергии Гиббса ΔG_r в соответствующих реакциях восстановления высших оксидов) является образование каналов переключения, состоящих из VO_2, Ti_2O_3, NbO_2, Fe_3O_4 [9], а общим для всех указанных соединений является наличие в них ПМИ. При этом пороговое напряжение уменьшается с ростом температуры и стремится к нулю при T, соответствующей температуре ПМИ T_c для каждого из указанных соединений. Можно предположить, что в случае Mo также происходит образование канала, состоящего из материала с ПМИ, что и является причиной переключения с S-образной ВАХ (см. рис. 4).

Краткий обзор материалов с ПМИ в семействе соединений молибдена, представленный выше, показывает, что наиболее подходящим кандидатом на роль такого «каналообразующего» соединения является оксид Mo_8O_{23}, так как в этом случае T_{c1} практически совпадает с T_0. Образование же при формовке других соединений молибдена (например, пирохлоров, бронз, сульфидов или халькогенидных стекол), проявляющих ПМИ с близкими по порядку величины температурами перехода, невозможно ввиду отсутствия необходимых для этого химических элементов (то есть редких земель, водорода или щелочных металлов, серы и теллура) в составе как самой оксидной пленки, так и электродов (Au, Ta, Mo).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе результаты по переключению из высокоомного в низкоомное состояние с отрицательной дифференциальной проводимостью S-образного типа в оксидах молибдена, полученных как термическим напылением в вакууме, так и электрохимическим анодным окислением, связано, по-видимому, с фазовым переходом металл-изолятор в канале переключения, состоящим полностью или частично из низшего оксида Mo_8O_{23}, образующимся в исходной пленке в процессе электроформовки. При протекании тока происходит нагрев канала переключения до температуры ПМИ T_{c1} = 315 К [13] и переключение структуры в металлическое низкоомное состояние. При электроформовке происходят изменения стехиометрии оксида по кислороду в канале проводимости, обусловленные ионными процессами в сильных электрических полях, близких к полям электрического пробоя МОМ-структуры. Картина процесса аналогична той, что наблюдается в материалах с переходом металл-изолятор, и характерна для большинства оксидов переходных металлов [4], [9], [16], [20]. Полученные результаты относительно порогового переключения в тонкопленочных МОМ-структурах на основе оксидов молибдена указывают на возможность использования данного материала в микро- и наноструктурах элементов переключения и памяти приборов оксидной электроники.

Выражаем благодарность Л. А. Алешиной за помощь в проведении рентгеноструктурных исследований.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг., Минобрнауки РФ, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России (2009–2013)», государственные контракты № 16.740.11.0562, № 14.B37.21.0747, № 14.B37.21.1066, № 14.B37.21.0755, а также в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России и заказом Департамента научных и научно-педагогических кадров университету на оказание услуг № 2.3282.2011 и № 2.2774.2011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов С. А., Белов А. Н. Электрохимические процессы в технологии микро- и наноэлектроники. М.: Высшее образование, 2009. 272 с.
2. Гаврилюк А. И., Секушин Н. А. Электрохромизм и фотохромизм в оксидах вольфрама и молибдена. Л.: Наука, 1990. 100 с.
3. Пергамент А. Л., Болдин П. А., Колчигин В. В., Стефанович Т. Г. Бистабильное переключение и эффекты памяти в оксидах переходных металлов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2011. № 8 (121). С. 118–120.
4. Пергамент А. Л., Малиненко В. П., Алёшина Л. А., Колчигин В. В. Фазовый переход металл-изолятор и электрическое переключение в диоксиде марганца // Физика твердого тела. 2012. Т. 54. Вып. 12. С. 2354–2358.
5. Arita M., Kaji H., Fujii T., Takahashi Y. Resistance switching properties of molybdenum oxide films // Thin Solid Films. 2012. Vol. 520. P. 4762–4767.
6. Arora M. R., Kelly R. The structure and stoichiometry of anodic films on V, Nb, Ta, Mo and W // J. Mater. Sci. 1977. Vol. 12. P. 1673–1684.
7. Balatti S., Larentis S., Gilmer D. C., Ielmini D. Multiple Memory States in Resistive Switching Devices Through Controlled Size and Orientation of the Conductive Filament // Adv. Materials. 2013. Vol. 25. Issue 10. P. 1474–1478.
8. Canadell E., Whangbo M. H. Band electronic structure study of the structural modulation in the Magneli phase Mo_8O_{23} // Inorg. Chem. 1990. Vol. 29. P. 2256–2260.
9. Chudnovskii F. A., Odynets L. L., Pergament A. L., Stefanovich G. B. Electroforming and switching in oxides of transition metals: The role of metal-insulator transition in the switching mechanism // J. Solid State Chem. 1996. Vol. 122. P. 95–99.
10. Cox P. A. Transition Metal Oxides. An Introduction to their Electronic Structure and Properties. Oxford: Clarendon Press, 1992. 284 p.
11. Daly C. M., Keil R. G. On the Anodic Oxidation of Molybdenum // J. Electrochem. Soc. 1975. Vol. 122. Issue 3. P. 350–353.

12. Driscoll T., Kim H.-T., Chae B.-G., Di Ventra M., Basov D. N. Phase-transition driven memristive system // Appl. Phys. Lett. 2009. Vol. 95. P. 043503.
13. Fujishita H., Sato M., Shapiro S. M., Hoshino S. Inelastic neutron scattering of the low-dimensional conductors $(TaSe_4)_2I$ and Mo_8O_{23} // Physica B+C. 1986. Vol. 143. Issues 1–3. P. 201–203.
14. Hasan M. A materials approach to resistive switching memory oxides // Journal of semiconductor technology and science. 2008. Vol. 8. № 1. P. 66–79.
15. Lin S.-Y., Wang C.-M., Kao K.-S., Chen Y.-C., Liu C.-C. Electrochromic properties of MoO_3 thin films derived by a sol-gel process // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2010. Vol. 53. P. 51–58.
16. Maeda A., Furuyama T., Tanaka S. Threshold-field behavior and switching in $K_{0.3}MoO_3$ // Solid State Communications. 1985. Vol. 55 (11). P. 951–955.
17. Mai L., Yang F., Zhao Y., Xu X., Xu L., Hu B., Luo Y., Liu H. Molybdenum Oxide Nanowires: Synthesis and Properties // Materials Today. 2011. Vol. 14. № 7–8. P. 346–353.
18. Motome Y., Furukawa N. Orbital degeneracy and Mott transition in Mo pyrochlore oxides // Journal of Physics: Conference Series. 2011. Vol. 320. P. 012060.
19. Pergament A. L., Stefanovich G. B. Phase composition of anodic oxide films on transition metals: a thermodynamic approach // Thin Solid Films. 1998. Vol. 322. № 1–2. P. 33–36.
20. Pergament A., Stefanovich G., Velichko A., Putrolainen V., Kundozerova T., Stefanovich T. Novel Hypostasis of Old Materials in Oxide Electronics: Metal Oxides for Resistive Random Access Memory Applications // Journal of Characterization and Development of Novel Materials. 2011. Vol. 4. Issue 2. P. 83–110.
21. Radisavljevic B., Kis A. Mobility engineering and a metal-insulator transition in monolayer MoS_2 // Nature Materials. 2013. Doi:10.1038/nmat3687.
22. Rao M. C., Ravindranadh K., Kasturi A., Shekhawat M. S. Structural Stoichiometry and Phase Transitions of MoO_3 Thin Films for Solid State Microbatteries // Research Journal of Recent Sciences. 2013. Vol. 2 (4). P. 67–73.
23. Rousseau R., Canadell E., Alemany P., Galva D. H., Hoffmann R. Origin of the Metal-to-Insulator Transition in $H_{0.33}MoO_3$ // Inorg. Chem. 1997. Vol. 36. P. 4627–4632.
24. Sato T., Dobashi T., Komatsu H., Takahashi T., Koyano M. Electronic structure of η-Mo_4O_{11} studied by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 2005. Vol. 144–147. P. 549–552.
25. Scanlon D. O., Watson G. W., Payne D. J., Atkinson G. R., Egdell R. G., Law D. S. L. Theoretical and Experimental Study of the Electronic Structures of MoO_3 and MoO_2 // J. Phys. Chem. C. 2010. Vol. 114. P. 4636–4645.
26. Strukov D. B., Williams R. S. An ionic bottle for high-speed, long-retention memristive devices // Appl. Phys. A. 2011. Vol. 102. P. 1033–1036.
27. Swanepoel R. Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1983. Vol. 16. P. 1214–1221.
28. Xie R., Bui C. T., Varghese B., Zhang Q., Sow C. H., Li B., Thong J. T. L. An Electrically Tuned Solid-State Thermal Memory Based on Metal-Insulator Transition of Single-Crystalline VO_2 Nanobeams // Adv. Funct. Mater. 2011. Vol. 21. P. 1602–1607.

Malinenko V. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation),
Pergament A. L., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Gorbakov A. O., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ELECTRICAL INSTABILITIES IN THIN FILM STRUCTURES BASED ON MOLYBDENUM OXIDES

Thin films of molybdenum oxide are obtained by thermal vacuum evaporation and anodic oxidation. The results of X-ray structural analysis, investigation of optical and electrical properties are presented. It is shown that the initial vacuum-deposited oxide represents amorphous MoO_3. In the MOM (metal-oxide-metal) structures with Mo oxide films are obtained by the two methods. The effect of electrical switching with an S-shaped current-voltage characteristic is found. We put forward a hypothesis according to which the switching mechanism is associated with the development of electrical instability caused by the insulator-to-metal transition in Mo_8O_{23}. The switching channel, comprising this lower valence oxide, emerges in the initial film during the process of electrical forming of the MOM structure.

Key words: switching effect, metal-insulator transition, molybdenum oxides

REFERENCES

1. Gavrilov S. A., Belov A. N. *Electrokhimicheskie protsessy v tekhnologii mikro- i nanoelectroniki* [Electrochemical processes in technology of micro- and nanoelectronics]. Moscow, Vysshee obrazovanie Publ., 2009. 272 p.
2. Gavrilyuk A. I., Sekushin N. A. *Electrokhromizm i photokhromizm v oksidakh vol'frama i molibdena* [Electrochromism and photochromism in oxides of tungsten and molybdenum]. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 100 p.
3. Pergament A. L., Boldin P. F., Kolchigin V. V., Stefanovich T. G. Bistable switching and memory effects in transition metal oxides [Bistabil'noe pereklyuchenie i effekty pamyati v oksidakh perekhodnykh metallov]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2011. № 8 (121). P. 118–120.
4. Pergament A. L., Malinenko V. P., Aleshina L. A., Kolchin V. V. Metal–Insulator Phase Transition and Electrical Switching in Manganese Dioxide [Fazovyy perekhod metall-izolyator i elektricheskoe pereklyuchenie v diokside margantsa]. *Fizika tverdogo tela* [Physics of the Solid State]. 2012. Vol. 54. № 12. P. 2498–2502.
5. Arita M., Kaji H., Fujii T., Takahashi Y. Resistance switching properties of molybdenum oxide films // Thin Solid Films. 2012. Vol. 520. P. 4762–4767.
6. Arora M. R., Kelly R. The structure and stoichiometry of anodic films on V, Nb, Ta, Mo and W // J. Mater. Sci. 1977. Vol. 12. P. 1673–1684.

7. Balatti S., Larentis S., Gilmer D. C., Ielmini D. Multiple Memory States in Resistive Switching Devices Through Controlled Size and Orientation of the Conductive Filament // Adv. Materials. 2013. Vol. 25. Issue 10. P. 1474–1478.
8. Canadell E., Whangbo M. H. Band electronic structure study of the structural modulation in the Magneli phase Mo_8O_{23} // Inorg. Chem. 1990. Vol. 29. P. 2256–2260.
9. Chudnovskii F. A., Odynets L. L., Pergament A. L., Stefanovich G. B. Electroforming and switching in oxides of transition metals: The role of metal-insulator transition in the switching mechanism // J. Solid State Chem. 1996. Vol. 122. P. 95–99.
10. Cox P. A. Transition Metal Oxides. An Introduction to their Electronic Structure and Properties. Oxford: Clarendon Press, 1992. 284 p.
11. Daly C. M., Keil R. G. On the Anodic Oxidation of Molybdenum // J. Electrochem. Soc. 1975. Vol. 122. Issue 3. P. 350–353.
12. Driscoll T., Kim H.-T., Chae B.-G., Di Ventra M., Basov D. N. Phase-transition driven memristive system // Appl. Phys. Lett. 2009. Vol. 95. P. 043503.
13. Fujishita H., Sato M., Shapiro S. M., Hoshino S. Inelastic neutron scattering of the low-dimensional conductors $(TaSe_4)_2I$ and Mo_8O_{23} // Physica B+C. 1896. Vol. 143. Issues 1–3. P. 201–203.
14. Hasan M. A materials approach to resistive switching memory oxides // Journal of semiconductor technology and science. 2008. Vol. 8. № 1. P. 66–79.
15. Lin S.-Y., Wang C.-M., Kao K.-S., Chen Y.-C., Liu C.-C. Electrochromic properties of MoO_3 thin films derived by a sol-gel process // J. Sol-Gel Sci. Technol. 2010. Vol. 53. P. 51–58.
16. Maeda A., Furuyama T., Tanaka S. Threshold-field behavior and switching in $K_{0.3}MoO_3$ // Solid State Communications. 1985. Vol. 55 (11). P. 951–955.
17. Mai L., Yang F., Zhao Y., Xu X., Xu L., Hu B., Luo Y., Liu H. Molybdenum Oxide Nanowires: Synthesis and Properties // Materials Today. 2011. Vol. 14. № 7–8. P. 346–353.
18. Motome Y., Furukawa N. Orbital degeneracy and Mott transition in Mo pyrochlore oxides // Journal of Physics: Conference Series. 2011. Vol. 320. P. 012060.
19. Pergament A. L., Stefanovich G. B. Phase composition of anodic oxide films on transition metals: a thermodynamic approach // Thin Solid Films. 1998. Vol. 322. № 1–2. P. 33–36.
20. Pergament A., Stefanovich G., Velichko A., Putrolainen V., Kundozerova T., Stefanovich T. Novel Hypostasis of Old Materials in Oxide Electronics: Metal Oxides for Resistive Random Access Memory Applications // Journal of Characterization and Development of Novel Materials. 2011. Vol. 4. Issue 2. P. 83–110.
21. Radisavljevic B., Kis A. Mobility engineering and a metal-insulator transition in monolayer MoS_2 // Nature Materials. 2013. Doi:10.1038/nmat3687.
22. Rao M. C., Ravindranadh K., Kasturi A., Shekhawat M. S. Structural Stoichiometry and Phase Transitions of MoO_3 Thin Films for Solid State Microbatteries // Research Journal of Recent Sciences. 2013. Vol. 2 (4). P. 67–73.
23. Rousseau R., Canadell E., Alemany P., Galva D. H., Hoffmann R. Origin of the Metal-to-Insulator Transition in $H_{0.33}MoO_3$ // Inorg. Chem. 1997. Vol. 36. P. 4627–4632.
24. Sato T., Dobashi T., Komatsu H., Takahashi T., Koyano M. Electronic structure of η-Mo_4O_{11} studied by high-resolution angle-resolved photoemission spectroscopy // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. 2005. Vol. 144–147. P. 549–552.
25. Scanlon D. O., Watson G. W., Payne D. J., Atkinson G. R., Egdell R. G., Law D. S. L. Theoretical and Experimental Study of the Electronic Structures of MoO_3 and MoO_2 // J. Phys. Chem. C. 2010. Vol. 114. P. 4636–4645.
26. Strukov D. B., Williams R. S. An ionic bottle for high-speed, long-retention memristive devices // Appl. Phys. A. 2011. Vol. 102. P. 1033–1036.
27. Swanepoel R. Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon // J. Phys. E: Sci. Instrum. 1983. Vol. 16. P. 1214–1221.
28. Xie R., Bui C. T., Varghese B., Zhang Q., Sow C. H., Li B., Thong J. T. L. An Electrically Tuned Solid-State Thermal Memory Based on Metal-Insulator Transition of Single-Crystalline VO_2 Nanobeams // Adv. Funct. Mater. 2011. Vol. 21. P. 1602–1607.

Поступила в редакцию 06.08.2013

Март, № 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 535.13, 539.1.03

СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ МОЛЬКОВ
доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
tandem@onego.ru

ВЛИЯНИЕ РАЗЪЮСТИРОВКИ ЗЕРКАЛ НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛНОВОДНЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАЗЕРОВ

Изучено влияние разъюстировки зеркал волноводного резонатора на выходные характеристики газоразрядных лазеров. Рассмотрены цилиндрические и прямоугольные в сечении волноводные лазеры, обратная связь в которых осуществляется с помощью плоских или сферических зеркал. Разъюстировка зеркал обусловлена воздействием внешних факторов (давление, температура, вибрации). Предложена расчетная модель, позволяющая с достаточной для практики точностью установить зависимость выходной мощности от угла разъюстировки зеркал. Приближенный аналитический расчет основан на замене реальной волноводной моды подходящим образом выбранным гауссовским пучком. Полученные зависимости позволяют обосновать требования, предъявляемые к держателям оптики при заданном изменении внешних условий. Таким образом, решена практическая задача по определению предельных углов разъюстировки, при которых не происходит существенного изменения выходной мощности излучения лазеров.

Ключевые слова: газоразрядный лазер, волноводный резонатор, разъюстировка, потери на связь, выходная мощность

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время широкое распространение для газовых лазеров получили волноводные резонаторы, в которых полый волновод круглого или прямоугольного сечения является одновременно областью газового разряда. При малых габаритах лазеры с волноводным резонатором способны излучать значительные мощности в силу большого коэффициента усиления, а возможность работы при повышенном давлении обеспечивает плавную перестройку частоты излучения в широком диапазоне. Обратная связь в волноводных резонаторах осуществляется с помощью плоских зеркал, расположенных вблизи торцов волновода, на достаточном удалении от области горения разряда. В случае необходимости введения в резонатор дополнительных оптических элементов используют сферические зеркала, расположенные на некотором расстоянии от торцов волновода.

При изменении внешних условий (температуры, давления, вибрации) возможна разъюстировка зеркал резонатора. Поэтому при разработке требований к держателям оптики волноводных лазеров важно определить предельные углы разъюстировки, при которых не происходит существенного изменения выходных параметров и, в частности, мощности излучения лазеров [12]. Модель, представленная в данной работе, позволяет связать угол наклона зеркал резонатора и выходную мощность лазера и тем самым решить поставленную задачу.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Разъюстировка зеркал резонатора ведет к росту потерь на согласование поля волновода и свободного пространства между торцом волновода и зеркалом. Методика расчета потерь на связь основана на использовании для описания электромагнитного поля интегрального преобразования Кирхгофа в приближении Френеля. Если $E_1(\vec{r}_1)$ – распределение комплексной амплитуды напряженности поля на выходе из волновода, то поле $E_2(\vec{r}_2)$ после прохождения излучения до зеркала и обратно к торцу волновода определяется выражением [3]:

$$E_2(\vec{r}_2) = \iint_S K(\vec{r}_2, \vec{r}_1) E_1(\vec{r}_1)\, dS, \qquad (1)$$

где интегрирование ведется по площади S волновода; K – ядро интегрального преобразования Кирхгофа – Френеля, вид которого определяется геометрией волновода и элементами лучевой матрицы (ABCD), описывающей прохождение излучения от торца волновода до зеркала и обратно.

Электромагнитная волна $E_2(\vec{r})$ будет возбуждать в волноводе моду $E_1(\vec{r})$ с коэффициентом связи c_{12}, равным:

$$c_{12} = \iint_S E_2^*(r_2) E_1(r_1)\, dS. \qquad (2)$$

Тогда потери на согласование поля в волноводе и свободном пространстве, или потери на связь, будут определяться выражением:

$$\Lambda = 1 - |c_{12}|^2. \qquad (3)$$

© Мольков С. И., 2014

Для цилиндрического волновода ядро интегрального преобразования (1) имеет вид:

$$K\left(r_2,r_1\right)=\frac{ik}{B}e^{-ikL}\exp\left\{-\frac{ik}{2B}\left(Ar_1^2+Dr_2^2\right)\right\}J_0\left(\frac{k\,r_1\,r_2}{B}\right), \quad (4)$$

где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, λ – длина волны излучения, L – оптическая длина пути. Когда зеркало радиуса кривизны R установлено на расстояние l от торца волновода: $A = D = 1–2l/R$, $B = 2l\,(1 –l/R)$, для плоского зеркала $A = D = 1$, $B = L = 2l$. Для поля $E_2\,(r_2)$ на входе в волновод получаем:

$$E_2(r_2)=\int_0^a K(r_2,r_1)E_1\left(r_1\right)r_1dr_1. \quad (5)$$

Для прямоугольного в сечении волновода размером $2a \times 2b$ ядро интегрального преобразования (1) имеет вид:

$$K\left(x_2,y_2,x_1,y_1\right)=$$
$$=\frac{ik}{2\pi B}e^{-ikL}\exp\left\{-\frac{ik}{2B}\left[A\left(x_1^2+y_1^2\right)+D\left(x_2^2+y_2^2\right)-2\left(x_1x_2+y_1y_2\right)\right]\right\}, \quad (6)$$

и центр декартовой системы координат совпадает с центром прямоугольного сечения, а поле $E_2\,(x_2, y_2)$ на входе в волновод:

$$E_2\left(x_2,y_2\right)=\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}K\left(x_2,y_2,x_1,y_1\right)E_1\left(x_1,y_1\right)dx_1dy_1. \quad (7)$$

При наклоне зеркал на угол δ оптическая ось пучка E_2 сдвигается от центра волновода на расстояние $\Delta = ltg2\delta \cong 2l\delta$, а волновой фронт пучка поворачивается на угол 2δ по отношению к торцу волновода. При этом коэффициент связи $|c_{12}|$ уменьшается, а потери Λ растут. Для проведения расчетов необходимы сведения о поперечном распределении амплитуды волноводной моды E_1, которое определяется геометрией и материалом волновода. Приближенный аналитический расчет, удовлетворяющий практическим потребностям, основан на замене реальной волноводной моды подходящим образом выбранным гауссовским пучком.

МОДЫ ВОЛНОВОДА

Моды круглого диэлектрического волновода – поперечные электрические TE_{0m}, поляризованные параллельно стенкам, поперечные магнитные TM_{0m}, поляризованные перпендикулярно стенкам, и линейно поляризованные гибридные моды EH_{nm} – имеют коэффициенты затухания (волноводные потери), определяемые выражением [1]:

$$\alpha=\left(\frac{u_{nm}}{2\,\pi}\right)\frac{\lambda^2}{a^3}\mu, \quad (8)$$

где u_{nm} – m-й корень уравнения $J_{n-1}\,(u_{nm}) = 0$; λ – длина волны излучения; a – радиус волновода; J_{n-l} – функция Бесселя первого рода $n – 1$ порядка. Для величины μ имеем:

$$\mu=\begin{cases}\left(n^2-1\right)^{-1/2},\\ n^2\left(n^2-1\right)^{-1/2},\\ \left(n^2+1\right)\left(n^2-1\right)^{-1/2}/2\end{cases} \quad (9)$$

для мод TE, TM, EH соответственно, n – показатель преломления стенки волновода. Здесь показатель преломления активной среды принят равным единице и пренебрегалось малым поглощением в материале волновода. В противном случае n^2 в выражении (9) необходимо заменить комплексной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = (n – iK)^2$, где K – коэффициент экстинкции, связанный с коэффициентом поглощения материала k соотношением $K = \lambda k/4\pi$, а вместо μ в формуле (8) использовать $Re\,\mu$.

Как следует из формулы (9), потери мод TM и EH будут минимальны при n = 1,41 и 1,73 соответственно. При этом μ принимают значения 2 для TM-мод и 1,73 для EH-мод. Потери TM-мод заведомо выше потерь TE- и EH-мод. Учитывая, что u_{01} = 3,832, u_{11} = 2,405, находим, что минимальными потерями при $n > 2{,}02$ обладает TE_{01}-мода, а при $n < 2{,}02$ EH_{11}-мода. Таким образом, при использовании в качестве материала волновода, например, кварца (n ~1,54–1,17 при λ = 0,59–7,0 мкм) или оптического стекла (n ~1,45–1,93) генерация будет происходить на основной гибридной моде EH_{11}.

Моды прямоугольного волновода размером $2a \times 2b$ $EH_{nm}^{x,y}$, линейно поляризованные параллельно осям x и y, описываются выражениями [1], [11]:

$$E_l\left(x,y\right)=E_{x,y}=\frac{1}{\sqrt{ab}}\begin{cases}\sin n\dfrac{\pi x}{2a}\sin m\dfrac{\pi y}{2b}\\ \cos n\dfrac{\pi x}{2a}\cos m\dfrac{\pi y}{2b}\end{cases}, \quad (10)$$

для четных n, m и для нечетных n, m соответственно индексы x и y определяют поляризацию мод. Коэффициенты затухания для мод EH_{nm}^{x} и EH_{nm}^{y} равны, соответственно:

$$\alpha_{nm}^{x}=-\frac{1}{2}\left(\frac{(\lambda n)^2}{(2a)^3}\mathrm{Re}\frac{\varepsilon_a}{\sqrt{\varepsilon_a-1}}+\frac{(\lambda m)^2}{(2b)^3}\mathrm{Re}\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_b-1}}\right),$$
$$\alpha_{nm}^{y}=-\frac{1}{2}\left(\frac{(\lambda n)^2}{(2a)^3}\mathrm{Re}\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_a-1}}+\frac{(\lambda m)^2}{(2b)^3}\mathrm{Re}\frac{\varepsilon_b}{\sqrt{\varepsilon_b-1}}\right), \quad (11)$$

где ε_a и ε_b – относительные диэлектрические проницаемости материалов, из которых выполнены стенки волновода в направлении осей x и y, равные $\varepsilon_a = (n_a – iK_a)^2$, $\varepsilon_b = (n_b – iK_b)^2$, $K_{a,\,b}$ – соответствующие коэффициенты экстинкции. В таблице собраны данные об оптических характеристиках материалов, используемых в волноводных газоразрядных лазерах.

Оптические характеристики некоторых материалов [1], [4], [5]

Материал	Λ, мкм	n	K
Оптическое стекло	0,546	1,45–1,93	–
Кварцевое стекло	0,589 7,0	1,544 1,167	–
Ga As	8,0 19,0	3,34 2,41	–
NaCl	0,589 10,0	1,544 1,495	–
Si	1,367 10,0	3,496 3,418	–
Ge	3,3 10,6	4,037 4,0	–
ZnSe	10,6	2,4	–
Al	0,63 10,6	1,2 25	7 67
Cr	0,63 10,6	3,19 11	2,26 22,8
Cu	0,63 10,6	0,15 12,6	3,2 64,3
Au	0,63 10,6	0,15 7,4	3,2 53,4
Ag	0,63 10,6	0,065 10,7	4 69
Fe	10,6	6,32	29,1
Ni	10,6	8,86	22,5
Co	10,6	7,7	31,4
Ковар	10,6	7,0	28,3

При генерации низших мод EH_{11}^{x} и EH_{11}^{y} для практически важного случая квадратного волновода, стенки которого по направлению оси x представляют собой полированные металлические электроды ($n_a < K_a$), а по направлению оси y диэлектрические пластины ($n_b >> K_b$), формулы (11) преобразуются к виду:

$$\alpha_{11}^{x} = -\frac{\lambda^2}{2(2a)^3}\left(\mathrm{Re}\frac{\varepsilon_a}{\sqrt{\varepsilon_a - 1}} - \frac{1}{\sqrt{n_b^2 - 1}}\right),$$
$$\alpha_{11}^{y} = -\frac{\lambda^2}{2(2a)^3}\left(\mathrm{Re}\frac{\varepsilon_a}{\sqrt{\varepsilon_a - 1}} - \frac{n_b^2}{\sqrt{n_b - 1}}\right). \quad (12)$$

Рассмотрим в качестве примера квадратный волновод размером $2a$ = 2,5 мм, образованный двумя коваровыми электродами с n_a = 7,0, K_a = 28,3 при λ = 10,6 мкм [5] и диэлектрическими пластинами с n_b = 1,5. Согласно (12) для моды, поляризованной перпендикулярно электродам, потери α_{11}^{x} = 2,79 × 10^{-4} см$^{-1}$, а для моды, поляризованной параллельно электродам, α_{11}^{y} = 0,31 × 10^{-4} см$^{-1}$, то есть волноводные потери почти на порядок меньше.

Помимо потерь на поглощение для волноводных лазеров характерны потери на рассеяние шероховатостями стенки. Коэффициент затухания для этого вида потерь пропорционален квадрату индекса моды [2], [6], и, следовательно, условие генерации низших мод для круглого и квадратного в сечении волноводов не нарушается. В случае прямоугольного в сечении волновода, когда b > (1,5 ÷ 2), условие генерации основной моды нарушается и пучок по оси y будет иметь несколько максимумов интенсивности. Для получения осесимметричного гауссоподобного выходного пучка в случае $b >> a$ необходимо использовать, например, гибридный неустойчиво-волноводный резонатор [8].

Учитывая изложенное, будем считать, что генерация в круглом и прямоугольном в сечении волноводах осуществляется на низших модах EH_{11}. Распределение амплитуды моды EH_{11} по сечению цилиндрического волновода описывается выражением:

$$E_1 = NJ_0\left(\frac{2,405\, r_l}{a}\right), \quad (13)$$

где N – нормировочный множитель, равный 1,09/a. Распределение амплитуды моды EH_{11} для прямоугольного в сечении волновода со сравнимыми сторонами $a \sim b$ согласно (10) определяется формулой:

$$E_1(x, y) = \frac{1}{\sqrt{ab}}\cos\frac{\pi x}{2a}\cos\frac{\pi y}{2b}. \quad (14)$$

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ НА СВЯЗЬ

Потери на согласование поля Λ для представляющего наибольший практический интерес случая плоского зеркала рассчитывались по формуле (3). При этом зависимость потерь на связь Λ для цилиндрического волновода от l можно представить следующим образом:

$$\Lambda = A\left(\frac{l\lambda}{a^2}\right)^B, \quad (15)$$

где A и B – постоянные аппроксимации данных численного расчета. Результаты различных авторов [7], [9], [10] для этих величин существенно отличаются: $A \sim$ 0,38–0,93, $B \sim$ 1,5–2. Численный расчет Λ с помощью выражений (5), (13), (3) с последующей аппроксимацией результатов позволяет получить для этих величин значения: A = 0,65, B = 2,0. На рис. 1 представлены зависимости Λ от $\lambda l/a^2$ согласно данным различных авторов в сравнении с нашими результатами.

В работе [7] зависимость потерь Λ от параметров задачи определялась путем представления E_1 (r) набором гауссовских мод свободного пространства. Волноводная EH_{11}-мода с эффективностью 98 % передает свою энергию TEM_{00}-моде, у которой радиус перетяжки пучка, расположенной в плоскости торца волновода, равен w_0 = 0,6435a. Очевидно, что для минимизации

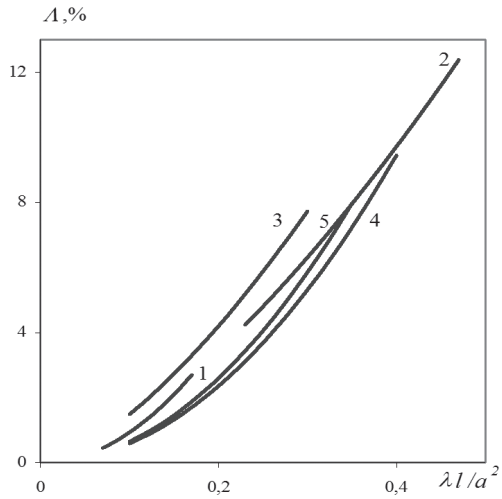


Рис. 1. Зависимость потерь Λ от величины $\lambda l/a^2$. 1 – [10], 2 – [9], 3 – [7], 4 – формула (17), 5 – при A = 0,65; B = 2,0

потерь радиус кривизны зеркала должен совпадать с радиусом кривизны волнового фронта пучка: $R = b_0\ (l/b_0 + b_0/l)$, где $b_0 = \pi w_0^2/\lambda$. Анализ [7] показывает, что оптимальное расположение зеркал, при котором потери на связь менее 1,5 %, определяется соотношениями: $l \le 0{,}1b_0$, $l = b_0$ и $l > 10b_0$ при радиусах зеркал $R = \infty$, $R = 2b_0$ и $R = l$ соответственно. Так, для волновода диаметром $2a$ = 1,5 мм при λ = 10,6 мкм b_0 = 69 мм. Тогда без существенной потери мощности установку плоского зеркала можно производить на расстоянии l < 7 мм от торца волновода. Отметим, что данные результаты справедливы и для квадратного волновода со стороной $2a$, если использовать для w_0 выражение $w_0 = 0{,}7032a$.

Кроме зависимости Λ от l необходимо получить зависимость потерь на связь от разъюстировки зеркал, так как именно она определяет требование к точности установки зеркал и позволяет оценивать стабильность выходных характеристик лазера при изменении внешних условий. Аппроксимируя выражение для выходящего из волновода излучения (13) основной гауссовской модой TEM_{00} с $w_0 = 0{,}6435a$, получаем для коэффициента связи c_{12} выражение:

$$c_{12} = \frac{2}{w w_0 \left[X(\beta)X(0)\right]^{1/4}} \exp\left\{-\frac{\Delta^2}{w^2} + \right.$$
$$\left. + \frac{1}{4X(\beta)}\left[\left(Y_1^2 - Y_2^2\right)X_1 - 2Y_1Y_2X_2\right]\right\} \exp\{i\Phi\}, \qquad (16)$$

где $\beta = 2\delta$; $\Delta = 2l\delta$; $X_1(\beta) = 1/w_0^2 + \cos^2\beta/w^2$; $X_2(\beta) = k\cos^2\beta/2R$; $X(\beta) = X_1^2 + X_2^2$; $Y_1(\beta) = 2\Delta\cos\beta/w^2$; $Y_2(\beta) = k(\sin\beta - \Delta\cos\beta/R)$; exp $\{i\Phi\}$ – несущественный при расчете потерь фазовый множитель; w, R – радиус пучка и радиус кривизны волнового фронта излучения, приходящего к торцу волновода.

В случае плоского зеркала на расстоянии l от торца волновода: $w^2 = w_0^2\left[1 + \left(4l/kw_0^2\right)^2\right]$, $R = 2l\left[1 + \left(kw_0^2/4l\right)^2\right]$. С помощью (16) по формуле (3) определим потери на связь при отсутствии разъюстировки (δ = 0):

$$\Lambda = 0{,}59y\frac{1 + 2{,}36\,y}{1 + 2{,}95y + 1{,}39y^2} \cong 0{,}59\left(\frac{\lambda l}{a^2}\right)^2, \qquad (17)$$

где $y = (\lambda l/a^2)^2$. Это выражение дает для потерь на связь значения, близкие к результатам численных расчетов, что подтверждает корректность использованной методики расчета и позволяет пользоваться ею при разъюстировке. В общем случае для потерь на связь получаем:

$$\Lambda \cong 1 - \left[1 - 0{,}59\left(\frac{\lambda l}{a^2}\right)^2\right] exp\left\{-1{,}63\,10^{-5}\left(\frac{a}{\lambda}\right)^2\delta^2\right\}, \qquad (18)$$

где угол разъюстировки δ выражен в мрад. При получении данного выражения использовалась малость угла разъюстировки δ и малость l ($l < 0{,}1b_0$).

Для прямоугольного в сечении волновода со сравнимыми сторонами распределение поля на выходе из волновода определяется выражением (10). Волна E_2 (x, y), подходящая к торцу волновода, будет описываться интегралом Френеля (1) с ядром (6). Аппроксимируем E_1 (x, y), как и в случае круглого волновода, основной астигматичной гауссовской модой с радиусами пучка в перетяжке, лежащей на торце волновода, равными $w_{0x} = 0{,}7032a$, $w_{0y} = 0{,}7032b$. Тогда, определяя коэффициент связи и потери на связь по формулам (2) и (3), для съюстированного резонатора с плоским зеркалом на расстоянии l от торца получаем выражение:

$$\Lambda \cong 0{,}207\left[\left(\frac{\lambda l}{a^2}\right)^2 + \left(\frac{\lambda l}{b^2}\right)^2\right]. \qquad (19)$$

Отметим, что численное интегрирование по формулам (7), (2) и (3) для квадратного волновода дает близкий результат, отличающийся от (19) на 5 %.

При разъюстировке зеркал вследствие смещения пучка относительно центра волновода потери на связь возрастают. Аналогично случаю круглого волновода для прямоугольного волновода, используя выражение (2), получаем:

$$\Lambda \cong 1 - \left(1 - 0{,}207\left[\left(\frac{\lambda l}{a^2}\right)^2 + \left(\frac{\lambda l}{b^2}\right)^2\right] exp\left\{-1{,}95\ 10^{-5}\left[\left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 cos^2\varphi + \right.\right.\right.$$
$$\left.\left.\left. + \left(\frac{b}{\lambda}\right)^2 \sin^2\varphi\right]\delta^2\right\}\right), \qquad (20)$$

где угол разъюстировки δ выражен в мрад, φ – угол между осью ox и проекцией нормали к поверхности зеркала в плоскостях xy. На рис. 2 представлены результаты расчета потерь по формулам (18), (20) в зависимости от угла разъюстировки в сравнении с данными численного расчета.

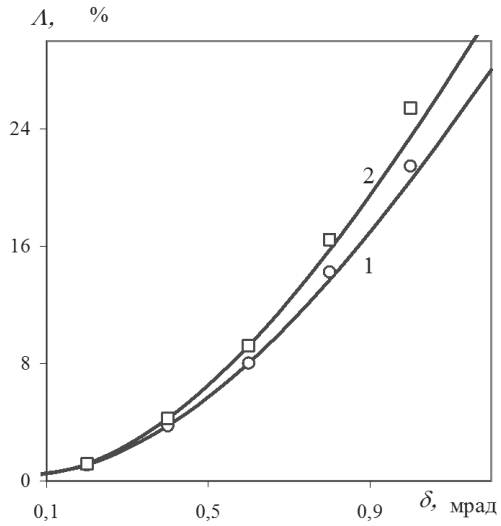


Рис. 2. Зависимость потерь на связь Λ от угла разъюстировки зеркала δ_i при λ = 10,6 мкм, $2a$ = 2,5 мм, l = 7 мм для круглого (1) и квадратного (2) волноводов при φ = 0; ○, □ – численный расчет

В случае необходимости использования сферического зеркала на оптимальном расстоянии от торца волновода ($l = b_0$ или $l > 10b_0$) $w = w_0$, $R = \infty$. При этом из (16) следует:

$$c_{12} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{1+\cos^2\beta}} \exp\left\{-\frac{\Delta^2}{w_0^2} + \frac{w_0^4}{4\left(1+\cos^2\beta\right)^2}\left[\left(Y_1^2 - Y_2^2\right)X_1\right]\right\}. \quad (21)$$

Тогда потери на связь (3) для цилиндрического волновода равны:

$$\Lambda = 1 - \exp\left\{-1{,}6510^{-5}\left[\left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 + 0{,}59\left(\frac{l}{a}\right)^2\right]\delta^2\right\}, \quad (22)$$

где угол δ выражен в мрад. При $l = 1{,}3a^2/\lambda$ оптимальный радиус кривизны зеркала $R_{opt} = 2{,}6a^2/\lambda$, а при $l \geq 13a^2/\lambda$ – $R_{opt} = l$. Аналогичное выражение для потерь на связь квадратного волновода имеет вид:

$$\Lambda = 1 - \exp\left\{-1{,}9510^{-5}\left[\left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 + 0{,}41\left(\frac{l}{a}\right)^2\right]\delta^2\right\}. \quad (23)$$

При $l = 1{,}55a^2/\lambda$ оптимальный радиус кривизны зеркала $R_{opt} = 3{,}1a^2/\lambda$, а при $l \geq 15{,}5a^2/\lambda$ – $R_{opt} = l$.

ВЫХОДНАЯ МОЩНОСТЬ

Для расчета выходной мощности определим коэффициент локальных потерь в резонаторе K_{loss} с учетом потерь на связь. При этом необходимо вместо коэффициентов отражения зеркал ρ_i использовать эффективные коэффициенты отражения:

$$\rho_i^{ef} = \rho_i\left(1 - \Lambda_i\right),$$

где i = 1, 2 – номер зеркала; Λ_i – определяются по формулам (18), (20) или (22), (23) для плоских или сферических зеркал соответственно с $l = l_i$, $\delta = \delta_i$, а l_i и δ_i – расстояние между i-ым зеркалом и торцом волновода и угол поворота зеркала.

$$K_{loss} = \frac{1}{2L_a}\ln\frac{1}{\rho_1^{ef}\rho_2^{ef}} = \frac{1}{2L_a}\ln\frac{1}{\rho_1\rho_2} + \frac{1}{2L_a}\ln\frac{1}{\left(1-\Lambda_1\right)\left(1-\Lambda_2\right)} = K_0 + K_1, \quad (24)$$

где L_a – длина активной среды.

С учетом распределенных волноводных потерь выходная мощность пропорциональна выражению $(g_0/(K_{loss} + \alpha) - 1)^n$, где g_0 – ненасыщенный коэффициент усиления; n = 1 при однородном уширении линии перехода и n = 2 – при неоднородном. При большом превышении усиления над потерями отношение мощности в разъюстированном резонаторе к мощности в съюстированном резонаторе определяется выражением:

$$\eta\left(\delta_1,\delta_2\right) = \left[\frac{K_0 + \alpha + K_1\left(0,0\right)}{K_0 + \alpha + K_1\left(\delta_1,\delta_2\right)}\right]^n \cong \left[1 + \frac{\Lambda_1\left(\delta_1\right) + \Lambda_2\left(\delta_2\right) - \Lambda_1\left(0\right) - \Lambda_2\left(0\right)}{2L_a\left(K_0 + \alpha\right)}\right]^n, \quad (25)$$

где учтена малость потерь на связь.

Рассмотрим, например, волноводный CO_2-лазер, возбуждаемый ВЧ-разрядом, работающий на длине волны λ = 10,6 мкм, с квадратным волноводом, $2a \times 2a$ = 2,5 × 2,5 мм, длиной L_a = 500 мм и $K_0 + \alpha = 1{,}2\,10^{-3}$ см$^{-1}$. Резонатор лазера образован плоскими зеркалами: $l_1 = l_2$ = 7 мм, и при симметричной разъюстировке ($\delta_1 = \delta_2$) выходная мощность снижается на 10 % при δ = 0,15 мрад и на 30 % при δ = 0,26 мрад.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формула (25) вместе с выражениями для потерь на связь (18) и (20) для цилиндрического и прямоугольного в сечении волноводов с плоскими зеркалами или с выражениями (22) и (23) для сферических зеркал устанавливает с достаточной для практических целей точностью зависимость между уровнем снижения выходной мощности лазера η (δ_1, δ_2) и углами разъюстировки зеркал резонатора. Это позволяет решать поставленную в работе задачу по определению предельных углов разъюстировки, при которых не происходит существенного изменения выходной мощности излучения лазеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов. М.: Мир, 1984. 512 с.
2. Басс Ф. Г., Фукс И. М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.: Наука, 1972. 424 с.
3. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
4. Воронкова Е. М., Дистлер Г. И., Гречушников Б. Н., Петров В. П. Оптические материалы для инфракрасной техники. М.: Наука, 1965. 333 с.

5. Золоторев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред. Л.: Химия, 1984. 477 с.
6. Пипченко М. И., Рубинов Ю. А. Эффективность селекции поперечных мод волноводом в волноводных лазерах // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. № 6. С. 1322–1326.
7. Abrams R. L. Coupling losses in hollow waveguide laser resonators // IEEE J. Quant. Electron. 1972. Vol. 8. № 11. P. 838–843.
8. Cherezov V. M., Mol'kov S. I., Shishkanov E. F., Stepanov V. A. Characreristics of a stab RF-excited CO_2-laser using unstable waveguide resonator // SPIE. 2000. Vol. 4165. P. 157–168.
9. Degnan J. J., Hall D. R. Finite-aperture waveguide-laser resonators // IEEE J. Quant. Electron. 1973. Vol. 9. № 9. P. 901–910.
10. Hill H., Hall D. R. Waveguide laser resonators with a tilted mirror // IEEE J. Quant. Electron. 1986. Vol. 22. № 7. P. 1078–1087.
11. Laakmann K. D., Steior W. H. Waveguides: characteristic modes of hollow rectangular dielectric waveguides // Appl. Opt. 1976. Vol. 15. № 5. P. 1334–1340.
12. Molkov S. I. Ifluence of mirrors misalignment to the output characteristics of wave guide gas-discharge lasers // Proceedings of international scientific seminar (Russia – China) Physics of laser processes and applications (PHLPA-2012), 15–17 October 2012, Ryasan. Ryasan, 2012. P. 171–175.

Mol'kov S. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

INFLUENCE OF MIRRORS' MISALIGNMENT ON OUTPUT CHARACTERISTICS OF WAVEGUIDE GAS-DISCHARGE LASERS

The influence of waveguide resonator mirrors' misalignment on the output characteristics of waveguide gas-discharge lasers is studied. The waveguide lasers of cylindrical and rectangular section, the feedback in which is carried out by means of flat or spherical mirrors, are considered. The misalignment of mirrors is caused by the influence of external factors (pressure, temperature, vibrations). The calculation model allowing, with sufficient accuracy for practice, establishment of output power dependence from the angle of misaligned mirrors is offered. Approximate analytical calculation is based on the replacement of the real waveguide mode with the suitable Gaussian beam. The obtained data on correlatons help to substantiate demands made to holders of optics in cases when external conditions are changed. Thus, a practical task of finding critical angles of misalignment is solved. It will help to avoid critical changes in the output power of radiation lasers.

Key words: the gas-discharge laser, the waveguide resonator, misalignment, losses on communication, output power

REFERENCES

1. Adams M. J. Introduction to optical waveguides. New York, Wiley, 1981. 401 p.
2. Bass F. G., Fuks I. M. *Rasseyanie voln na statisticheski nerovnoy poverkhnosty* [Dispersion of waves on statistically rough surface]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 424 p.
3. Born M., Wol' f E. *Osnovy optiki* [Principles of Optics]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 720 p.
4. Voronkova E. M., Distler G. I., Grechushnikov B. N., Petrov V. P. *Opticheskie materialy dlya infrakrasnoy tekhniki* [Optical materials for infrared equipment]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 333 p.
5. Zolotarev V. M., Morozov V. N., Smirnova E. V. *Opticheskie postoyannye prirodnykh i tekhnicheskikh sred* [Optical constants of natural and technical environment]. Leningrad, Khimiya Publ., 1984. 477 p.
6. Pipchenko M. I., Rubinov Ju. A. Efficiency of selection of transversal mode by waveguide in the waveguide lasers [Effektivnost' selektsii poperechnykh mod volnovodom v volnovodnykh lazerakh]. *Optika i spektroskopiya* [Optics and spectroscopy]. 1988. Vol. 65. № . 6. P. 1322–1326.
7. Abrams R. L. Coupling losses in hollow waveguide laser resonators // IEEE J. Quant. Electron. 1972. Vol. 8. № 11. P. 838–843.
8. Cherezov V. M., Mol'kov S. I., Shishkanov E. F., Stepanov V. A. Characreristics of a stab RF-excited CO_2-laser using unstable waveguide resonator // SPIE. 2000. Vol. 4165. P. 157–168.
9. Degnan J. J., Hall D. R. Finite-aperture waveguide-laser resonators // IEEE J. Quant. Electron. 1973. Vol. 9. № 9. P. 901–910.
10. Hill H., Hall D. R. Waveguide laser resonators with a tilted mirror // IEEE J. Quant. Electron. 1986. Vol. 22. № 7. P. 1078–1087.
11. Laakmann K. D., Steior W. H. Waveguides: characteristic modes of hollow rectangular dielectric waveguides // Appl. Opt. 1976. Vol. 15. № 5. P. 1334–1340.
12. Molkov S. I. Ifluence of mirrors misalignment to the output characteristics of wave guide gas-discharge lasers // Proceedings of international scientific seminar (Russia – China) Physics of laser processes and applications (PHLPA-2012), 15–17 October 2012, Ryasan. Ryasan, 2012. P. 171–175.

Поступила в редакцию 17.07.2013

Март, № 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 681.5

АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ КАМАЧКИН
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики факультета прикладной математики – процессов управления, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
akamachkin@mail.ru

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОРБИТЫ ОДНОГО КЛАССА РЕЛЕЙНЫХ СВОБОДНЫХ ОСЦИЛЛЯТОРОВ

Изучается окрестность кусочно-гладкого решения системы автоматического управления с релейным гистерезисом в контуре обратной связи. Получены достаточные условия трансверсальности траекторий, изолированности периодических решений и орбитальной устойчивости периодических решений.

Ключевые слова: периодическое решение, трансверсальность траектории, орбитальная устойчивость

ВВЕДЕНИЕ

Системы автоматического управления, содержащие релейный гистерезис в контуре обратной связи, известны давно и широко используются в настоящее время [8], [9]. Они исследовались как приближенными, так и аналитическими методами, но до сих пор многие вопросы динамики таких систем далеки от своего решения. В частности, не решен вопрос о разбиении пространства параметров этих систем на области различного динамического поведения. Продвижению в направлении решения этого вопроса аналитическими методами и посвящена данная работа.

Рассмотрим систему автоматического управления

$$\dot{X} = AX + Bu\,, \tag{1}$$

где $u = f(\sigma)$, $\sigma = (\Gamma, X)$, $X \in E_n$, постоянные векторы B, $\Gamma \in E_n$; A – (nxn) – постоянная вещественная матрица; (Γ, X) – скалярное произведение векторов X и Γ $(\Gamma \neq 0)$; $f(\sigma)$ – нелинейная неоднозначная функция, характеризующая нелинейный элемент систем:

$$f(\sigma) = \begin{cases} m_1 \text{ при } -\infty < \sigma < \ell_2, \\ m_2 \text{ при } \ell_1 < \sigma < +\infty, \end{cases} \tag{2}$$

где $m_1 < 0 < m_2$, $\ell_1 < 0 < \ell_2$. Гистерезисная нелинейность релейного типа (2) вводится при математическом описании систем автоматического управления, если имеет место пространственное запаздывание управляющих механизмов. На плоскости (f, σ) гистерезисная петля обходится против часовой стрелки. Пусть все собственные числа матрицы A имеют отрицательные вещественные части ($\mathrm{Re}\,\lambda i < 0$), $(\Gamma, B) \neq 0$ и выполнены условия:

$$-\left(\Gamma, A^{-1} B m_1\right) > \ell_2,\ -\left(\Gamma, A^{-1} B m_2\right) < \ell_1. \tag{3}$$

Любая траектория системы (1), (2) состоит из кусков траекторий системы вида

$$\dot{X} = AX + m_i B \quad (i = 1,\ 2). \tag{4}$$

В фазовом пространстве точки «сшивания» этих кусков принадлежат поверхностям переключения $(\Gamma, X) = \ell_i$ $(i = 1, 2)$, и, в частности, периодический режим может состоять из двух кусков траекторий в силу разных систем (4) (так называемая унимодальная периодическая орбита).

ОКРЕСТНОСТЬ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ОРБИТЫ

Обозначим M орбиту периодического режима в фазовом пространстве.

Решение системы (1), (2) – вектор-функция $X(t, X_0, m_i)$, заданная и непрерывная при $t \geq 0$, $X(0, X_0, m_i) = X_0$. Если $(\Gamma, X_0) = \ell_1$, то эта вектор-функция удовлетворяет равенству $X_0 = X(\omega, X_0, m_i)$, где $X_0 \in M$, ω – период решения соответствующего M, $\omega = t_1 + t_2$ (t_1 – время, соответствующее движению от одной гиперплоскости переключения до другой в силу (4) при $i = 1$, а t_2 – время при $i = 2$). Функция $X(t, X_0, m_i)$ – дифференцируемая по t для всех $t \in (0, t_1)$ и всех $t \in (t_1, t_1 + t_2)$, поэтому в окрестности всей орбиты M невозможно рассматривать приведенную систему [1] системы (1), (2). Действительно, построим гиперплоскость P_t, проходящую через $X(t, X_0, m_i)$ при фиксированном t и определяемую уравнением

$$\left(X - X(t, X_0, m_i), \dot{X}(t, X_0, m_i)\right) = 0\,, \tag{5}$$

где $X \in E_n$. Гиперплоскость является нормальной гиперплоскостью к кривой, определяемой $X(t, X_0, m_i)$, при данном фиксированном t. На P_t можно ввести систему координат, выбрав в качестве ее начала точку $X(t, X_0, m_i)$, а в качестве единичных ортов осей – попарно ортогональные и непрерывно дифференцируемые

© Камачкин А. М., 2014

векторы. Таким образом, переходим к исследованию окрестности траектории методами теории устойчивости [2]. В силу условий, наложенных на матрицу A, можно утверждать, что любая траектория $X(t, X_0, m_i)$ в силу системы (4) является асимптотически орбитально устойчивой. Именно из кусков этих траекторий составлена периодическая орбита M. Обозначим эти куски $M(X_0, m_1)$ и $M(X_0, m_2)$. Обозначим $\rho(X, M) = \inf_{Y \in M} \|X - Y\|$, $S(M, \varepsilon) = \{X: X \in E_n, \rho(X, M) < \varepsilon\}$, $S(M, \varepsilon)$ – ε – окрестность траектории, $\varepsilon > 0$. Очевидно, что в точках переключения периодического режима воспользоваться изложенной методикой нельзя.

По аналогии с непрерывным случаем решение $X(t, X_0, m_i)$, которое соответствует орбите M, будем называть орбитально устойчивым, если для произвольного $\varepsilon > 0$ существует такое $\delta = \delta(\varepsilon) > 0$, что для любого $\bar{X} \in S(M(X_0, m_i), \delta)$ при $t \geq 0$ будем иметь $X(t, \bar{X}, m_i) \in S(M(X_0, m_i), \varepsilon)$.

Обозначим через X_0^1 и X_0^2 точки переключения периодического режима и $(\Gamma, X_0^1) = \ell_1$, $(\Gamma, X_0^2) = \ell_2$. Ясно, что строить гиперплоскости P_t для исследования окрестности можно до тех пор, пока множество $S_p = S(M(X_0, m_i), \delta) \cap P_t$ имеет не более одной общей точки с $(\Gamma, X) = \ell_i$. Обозначим S'_p множество, имеющее одну общую точку с $(\Gamma, X) = \ell_i$. При этом можно считать, в силу вида системы (1), (2), что между S'_p и соответствующей гиперплоскостью $(\Gamma, X) = \ell_i$ точки, принадлежащие периодическому режиму, могут быть представлены так:

$$X = X_0^j + t\left(A X_0^j + m_i B\right) + o(|t|), \quad j = 1, 2,$$

где t принадлежит некоторой достаточно малой окрестности точки $t = 0$. Тогда, если выполняются в точках переключения следующие неравенства:

$$Q_1 = \frac{\left|\Gamma^T\left(A X_0^2 + m_1 B\right)\right|}{\|\Gamma\|\left\|A X_0^2 + m_1 B\right\|} \geq \frac{\left|\Gamma^T\left(A X_0^2 + m_2 B\right)\right|}{\|\Gamma\|\left\|A X_0^2 + m_2 B\right\|} = Q_2,$$
$$N_1 = \frac{\left|\Gamma^T\left(A X_0^1 + m_2 B\right)\right|}{\|\Gamma\|\left\|A X_0^1 + m_2 B\right\|} \geq \frac{\left|\Gamma^T\left(A X_0^1 + m_1 B\right)\right|}{\|\Gamma\|\left\|A X_0^1 + m_1 B\right\|} = N_2, \quad (6)$$

то периодический режим (или, иначе, орбита M) соответствует орбитально устойчивому решению системы (1), (2).

Условия (6) имеют прозрачный геометрический смысл, но в общем случае могут и не выполняться.

Пусть неравенства (6) не выполняются. Воспользуемся тем, что в окрестностях типа $S(M(X_0, m_i), \delta)$ вдоль траекторий $M(X_0, m_1)$ и $M(X_0, m_2)$ имеет место сжатие в плоскостях типа P_t. Обозначим в равенстве (5) $Z = X - X(t, X_0, m_i)$. Рассмотрим матричное уравнение $A^T V + VA = -W$, где V и W – постоянные симметрические матрицы, при этом $V(Z) = Z^T VZ$ и $W(Z) = -Z^T WZ$ – соответственно положительно определенная и отрицательно определенная формы.

Обозначим $a = \min_k \lambda_k(V)$, $a_1 = \max_k \lambda_k(V)$ и $b = \min_k \lambda_k(W)$, $b_1 = \max_k \lambda_k(W)$, тогда в силу условий, наложенных на A, имеем $0 < a < a_1$, $0 < b < b_1$. Используя неравенство (6) и свойство экспоненциального сжатия вдоль траекторий, получаем, что для орбитальной устойчивости периодической траектории M должно выполняться неравенство

$$\|Z_0\| \geq \frac{a_1}{a} e^{-\alpha\omega} N_1 N_2 Q_1 Q_2 \|Z_0\|,$$

где $\alpha = b2(a_1)^{-1}$, Z_0 – начальный вектор в некоторой нормальной гиперплоскости, содержащей множество вида S'_p, то есть Z_0 лежит в этом множестве. Таким образом, должно выполняться неравенство:

$$a_1 a^{-1} e^{-\alpha\omega} N_1 N_2 Q_1 Q_2 \leq 1. \quad (7)$$

Предложение 1. Если у системы (1), (2) все собственные числа матрицы A имеют отрицательные вещественные части, $(\Gamma, B) \neq 0$ и выполняются неравенства (3), (6) или (3), (7), то периодический режим с двумя точками переключения является орбитально устойчивым периодическим решением системы (1), (2).

Отметим, что числа a, a_1, b, b_1 находятся не однозначно и зависят, например, от выбора матрицы W. Кроме того, как правило, легче проверить выполнение неравенства (6) в некоторых множествах, содержащих точки переключения и непрерывно отображаемых в себя в силу решения системы (1), (2). Взяв в одном из этих множеств начальное приближение точки переключения, можно получить в силу системы (1), (2) итерационный процесс, сходящийся к этой точке. Поэтому надо проверять неравенства (6) в некоторых окрестностях точек X_0^1 и X_0^2. Из приведенных рассуждений следует, что мы рассматриваем изолированную периодическую траекторию, в окрестностях точек переключения которой траектории системы (4) не касаются, по крайней мере, одновременно гиперплоскостей переключения $(\Gamma, X) = \ell_i$ $(i = 1, 2)$.

ИЗОЛИРОВАННОСТЬ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ОРБИТ

Обсудим условия изолированности орбит и свойство трансверсальности, то есть когда траектории системы, например вида (4), не касаются гиперплоскостей переключения. Условия касания траекториями поверхностей переключения: $\Gamma^T(AX + m_i B) = 0$, $i = 1, 2$, откуда получаем:

$$\Gamma^T AX = -\Gamma^T m_i B, \; i = 1, 2. \quad (8)$$

Уравнение (8) – это уравнение гиперплоскости. Если $\Gamma^T B \neq 0$, то в точках X на

$(\Gamma, X) = \ell_i$ $(i = 1,2)$ нет одновременного касания в силу обеих систем (4), если $m_1 \neq m_2$. Таким образом, получаем уравнения прямых, лежащих на $(\Gamma, X) = \ell_i$ $(i = 1,2)$ и таких, что в точках этих прямых выполняется условие (8), то есть:

$$\begin{cases} \Gamma^T X = \ell_j \quad (j = 1,2), \\ \Gamma^T A X = -\Gamma^T B m_i \quad (i = 1,2),\ \Gamma^T B \neq 0. \end{cases} \tag{9}$$

Следовательно, точки переключения орбиты не должны принадлежать прямым (9) – это условие трансверсальности для системы (1), (2).

С геометрической точки зрения не должны касаться поверхностей переключения траектории в силу уравнения (4), приходящие в окрестность точки переключения орбиты M, так как если в этом случае уходящие из окрестности траектории касаются, то при переходе через точку переключения имеет место сжатие по отношению к изучаемой траектории M. Если наоборот, то имеет место удаление от изучаемой траектории M при рассмотрении изображающих точек в нормальных плоскостях P_t. Это поясняет смысл неравенства (6).

Отметим, что условия (9) легко проверить, если знаем, хотя бы приближенно, координаты точек переключения M.

Условия изолированности орбиты тесно связаны с проблемой существования периодического решения системы (1) не только с функцией вида (2), но и с более сложными неоднозначными функциями $f(\sigma)$.

Периодические стационарные колебания можно построить, если найти все периодические решения интегрального уравнения

$$\sigma(t) = \Gamma^T e^{At}\left(E - e^{A\omega}\right)^{-1}\int_0^{\omega} e^{A(\omega-\tau)} B f\left(\sigma(\tau)\right) d\tau + \\ + \Gamma^T \int_0^{t} e^{A(t-\tau)} B f\left(\sigma(\tau)\right) d\tau, \tag{10}$$

где ω – период искомого периодического решения. Из уравнения (10) следует находить функцию $\sigma(t)$ и ее период ω. В (10) функция $f(\sigma(t))$ имеет кусочно-постоянные значения, зависящие от положения текущей координаты $X(t)$ в E_n. Матрица $(E - e^{A\omega})$ должна быть неособой, то есть среди собственных чисел матрицы A нет чисто мнимых вида pi, где $p = 0, \pm1, \pm2, \ldots$, тогда уравнение (6) имеет единственное решение [2]. В работе [9] утверждается, что для того, чтобы унимодальная периодическая орбита, то есть с двумя точками переключения, с полупериодом T_0 была изолированной, необходимо и достаточно, чтобы (в обозначениях оригинала [9])

$$N\left(e^{AT_o} - E\right) \cap N(\Gamma) = \{0\}, \tag{11}$$

где N обозначает нуль-пространство соответствующей матрицы. Более того, существует континуум периодических орбит, когда (11) не выполняется. Этот результат появился посредством уточнения работы [5], из условия существования отображения плоскости в плоскость и условия, что неподвижные точки этого отображения являются изолированными. Множество $N(\Gamma)$ – это множество тех X, для которых $\Gamma^T X = 0$, то есть это уравнение гиперплоскости, переходящей через точку O_n, и аналогично множество $N\left(e^{AT_o} - E\right)$ – это множество тех X, для которых $\left[e^{AT_o} - E\right] X = O_n$.

Условие (11) выполняется, если уравнение $\left[e^{AT_o} - E\right] X = O_n$ имеет только тривиальное решение, а это происходит только тогда, когда $rang\left[e^{AT_o} - E\right] = n$, то есть когда матрица $\left[e^{AT_o} - E\right]$ – неособая.

Следовательно, условие (11) не накладывает никаких новых условий на матрицу A по сравнению с ранее известными условиями. Кроме того, условие (11) получено лишь для симметричного случая гистерезиса при $m_1 = -1$, $m_2 = 1$, $\ell_1 = -1$, $\ell_2 = 1$. При этом известны достаточные условия сведения системы (1), (2) к симметричной системе [3].

Таким образом, для общего случая системы (1), (2) справедливо

Предложение 2. Если система (1), (2) имеет периодическую орбиту M с периодом ω и точки переключения этой орбиты не принадлежат множеству, определяемому условиями (9), матрица $\left[E - e^{A\omega}\right]$ – неособая, то тогда периодическая орбита M является изолированной.

Пример. Рассмотрим систему вида (1), (2), где

$$A = \begin{pmatrix} -1 & 10 & 0 \\ -10 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix},\ B = \begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix},$$

$$\Gamma = \begin{pmatrix} -2/3 \\ -2/3 \\ -4/3 \end{pmatrix},\ \begin{matrix} \ell_1 = -1, & \ell_2 = 1, \\ m_1 = -1, & m_2 = 1. \end{matrix}$$

При этом $\lambda_{1,2} = -1 \pm 10i$, $\lambda_3 = -1$, то есть все $\mathrm{Re}\lambda_i < 0$, и выполняется условие (3). Эта система имеет две унимодальные периодические орбиты. Первая орбита – устойчивая с точками переключения

$$X_0^1 = -X_0^2 \cong \left(0{,}1438 \quad 0{,}0059 \quad 0{,}6752\right)^T,$$

вторая орбита является неустойчивой с точками переключения

$$X_0^1 = -X_0^2 \cong \left(0{,}6469 \quad 0{,}3651 \quad 0{,}2440\right)^T.$$

Легко проверить, что второе равенство (9) не выполняется для этих точек. Обе орбиты являются изолированными.

Замечание. Сформулированные условия нисколько не уже условия изолированности (11),

кроме того, Предложение 2 годится не только для унимодальных орбит, а вообще для кусочно-гладких орбит. Например, можно считать, что траектория имеет $2m$ точек переключения ($m \geq 1$ и точек конечное число) и в окрестности каждой из них имеет место свойство трансверсальности (9). При этом должно дополнительно выполняться условие: существует такое $\alpha \in (0, 1)$, что при любом j $(1 \leq j \leq n)$ $\max\limits_j \operatorname{Re} \lambda_j(A) \leq -\alpha < 0$.

ОРБИТАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

Предположим, что нам удалось найти точки переключения периодической орбиты, то есть существует замкнутая траектория. Наша задача – исследовать эту траекторию на устойчивость. Каждая часть траектории в силу системы (4) может быть исследована с использованием нормальной плоскости P_t и уравнения Ляпунова, но этот подход не может быть использован в окрестностях точек переключения. Будем далее считать, что выполнены условия Предложения 2.

Пусть X_0 – точка переключения, лежащая на плоскости $(\Gamma, X) = \ell_i$, и пусть угол α_0 между векторами Γ и AX_0 – острый, то есть $(\Gamma, AX_0) > 0$ и $0 < \cos\alpha_0 \leq 1$, где $\cos\alpha_0 = \dfrac{(\Gamma, AX_0)}{\|\Gamma\|\|AX_0\|}$. Предположим, что матрица A такова, что для любого вектора C выполняется условие

$$1 \geq \frac{(AC, -C)}{\|AC\|\|C\|} > \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_0\right) = \sin\alpha_0 . \qquad (12)$$

Последнее условие перепишем так

$$\frac{(AC, -C)}{\|AC\|\|C\|} > \sin\left[\arccos\frac{(\Gamma, AX_0)}{\|\Gamma\|\|AX_0\|}\right]. \qquad (12)$$

Пусть для наглядности $n = 3$ и пусть точка X_1 принадлежит произвольной траектории, плоскости P_t и одновременно поверхности переключения, тогда вектор $(X_1 - X_0)$ лежит в плоскости $(\Gamma, X) = \ell_i$. Построим систему ортов: $\Gamma_1 = \dfrac{\Gamma}{\|\Gamma\|}$, $\Gamma_2 = \dfrac{Пр\, AX_0}{\|Пр\, AX_0\|}$, где $Пр\ AX_0$ – проекция вектора AX_0 на плоскость $(\Gamma, X) = \ell_i$, а орт Γ_3 выбирается так, чтобы он имел острый угол с вектором $(X_1 - X_0)$. Построим матрицу $V = \sum\limits_{k=1}^{3} V_k$, где $V_k = \Gamma_k \Gamma_k^T$. Обозначим X переменную точку исследуемой траектории между плоскостью P_t и точкой X_0. Рассмотрим функцию

$$\bar{V}(X) = (X - X_1)^T V (X - X_1) = .$$
$$= \Delta X^T V \Delta X = \sum_{k=1}^{3} \Delta X^T V_k \Delta X = \sum_{k=1}^{3} \bar{V}_k(X).$$

Точка X_1 рассматривается как «неподвижная», то есть X_1 не зависит от t. Тогда $\dot{\bar{V}}(X) = X^T A^T V \Delta X + \Delta X^T V A \Delta X$. Матрица $V_1 = \Gamma\Gamma^T$, поэтому

$$\dot{\bar{V}}_1(X) = X^T A^T V_1 \Delta X + \Delta X^T V_1 A \Delta X \leq 0, \qquad (13)$$

в силу того, что по условию трансверсальности $(\dot{X}, \Gamma) \geq 0$, а $(\Gamma, \Delta X) \geq 0$.

Выясним теперь знак $\dot{\bar{V}}_2(X)$, то есть покажем, что

$$\begin{aligned} \dot{\bar{V}}_2(X) &= X^T A^T V_2 \Delta X + \Delta X^T V_2 A X = \\ &= X^T A^T \Gamma_2 \Gamma_2^T \Delta X + \Delta X^T \Gamma_2 \Gamma_2^T A X \leq 0. \end{aligned} \qquad (14)$$

Рассмотрим взаимное расположение векторов, входящих в выражение (14). Знак $(\Gamma_2, \Delta X)$ может быть любым, то есть $(\Gamma_2, \Delta X) \leq 0$ или $(\Gamma_2, \Delta X) \leq 0$. Выполняется условие $AX \to AX_0$ при $X \to X_0$, обозначаем $\alpha(t)$ угол между вектором $(X_1 - X)$ и плоскостью переключения, тогда выполняется условие $\alpha(t) \leq \angle(AX_0, \Gamma) = \alpha_0$, то есть угол α_0 – это угол максимального отклонения вектора $(X_1 - X)$ от $(\Gamma, X) = \ell_i$, $\alpha(t) \to 0$ при $X \to X_0$. Пусть при этом выполняется условие (12) при $C = \Gamma_2$, тогда величина (AX, Γ_2) всегда имеет знак, противоположный знаку $(\Gamma_2, \Delta X)$, следовательно, выполняется неравенство (14).

Из аналогичных соображений при $C = \Gamma_3$ следует, что

$$\dot{\bar{V}}_3(X) \leq 0 . \qquad (15)$$

Если при движении плоскости вида P_t первой достигает поверхности переключения точка $X = X_0$, то тогда все аналогично с переобозначением $X_1 = X_0$. Здесь для геометрической наглядности рассмотрен случай $n = 3$, но все можно перенести на случай $n > 3$. Из неравенств (13), (14) и (15) следует, что $\dot{\bar{V}}(X) \leq 0$.

Полученная матрица V по построению – идемпотентная и, следовательно, тождественна единичной матрице. Рассмотрим матрицу $W = A^T V + VA$, где матрица A – матрица нашей системы. Воспользуемся методом, позволяющим получать аддитивные свойства из известных мультипликативных (то есть используем кронекеровскую сумму) [6], и следующим утверждением [4]: для отрицательной определенности матрицы W необходимо выполнение $-Sp\, W > \|W\|_E$ и достаточно, чтобы $-Sp\, W > \sqrt{n-1}\|W\|_E$. Это упрощенный критерий отрицательной определенности матрицы. Последнее неравенство в нашем случае представляется так:

$$Sp^2 A > \frac{1}{2 + (n+1)} Sp\left(AA^T\right). \qquad (16)$$

Условие (16) позволяет построить функцию Ляпунова для тех участков траектории, где расстояние измеряется в плоскостях вида P_t, и в целом позволяет построить функцию Ляпунова

вдоль всей кусочно-гладкой замкнутой траектории.

В результате наших рассмотрений сформулируем

Предложение 3. Пусть выполнены все условия Предложения 2 относительно системы (1), (2), все собственные числа матрицы A имеют отрицательные вещественные части, $(\Gamma, B) \neq 0$ и выполнены условия (3), условие (12) для каждой точки переключения периодической орбиты и условие (16), тогда периодический режим является орбитально устойчивым периодическим решением системы (1), (2).

Отметим, что условие (12) можно рассматривать как дополнительное к свойству трансверсальности, а свойство (16) – как дополнительное условие на собственные числа матрицы A.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, получены достаточные условия существования изолированных периодических решений системы (1), (2), условие трансверсальности траекторий по отношению к поверхностям переключений, а также еще один вариант достаточных условий того, что периодическое решение является орбитально устойчивым. Если возможно перейти к дискретному анализу системы (1), (2), то проблемы, рассмотренные в статье, не возникают [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидович Б. П. Лекции по математической теории устойчивости. М.: Наука, 1967. 472 с.
2. Зубов В. И. Колебания в нелинейных и управляемых системах. Л.: Судпромгиз, 1962. 631 с.
3. Каменская С. А. Анализ и стабилизация систем с релейным гистерезисным управлением: Автореф. дисс. … канд. техн. наук. СПб., 2006. 21 с.
4. Михеев С. Е. Многомерная аппроксимация и интерполяция. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2012. 60 с.
5. Astrom K. J. et al. Recent advances in relay feedback methods – a survey // Proc. IEEE Conf. Systems, Man and Cybernetics. 1995. Vol. 3. P. 2616–2621.
6. Bellman R. Introduction to matrix analysis. McGraw – Hill Book Comp., Inc., 1960. 368 p.
7. Kamackin A. M., Stepanov A. V. Stable periodic solutions of time delay systems containing hysteresis nonlinearities. Topics in Time-Delay Systems: Analysis, Algorithms and control // Springer series Lecture Notes in Control and Information Science. 2009. P. 121–133.
8. Macki W., Nistri P., Zecca P. Matchematical models for hysteresis // SIAM Rev. 1993. Vol. 35. № 1. P. 94–123.
9. Variganda S., Georgiou T. T. Dynamycs of Relay Relaxation Oscillators // IEEE Transactions on automatic control. 2001. Vol. 46. № 1. P. 46–77.

Kamachkin A. M., Saint Peterburg State University (Saint Petersburg, Russian Federation)

PERIODIC ORBITS OF SAME CLASS RELAY RELAXATION OSCILLATORS

A neighborhood of piecewise-smooth solution of the automatic control system with relay hysteresis in feedback circuit is considered. Sufficient conditions of transversality of trajectories, isolation, and orbit stability of periodic solutions are obtained.

Key words: Periodic solution, orbit stability, transversality

REFERENCES

1. Demidovich B. P. *Lektsii po matematicheskoy teorii ustoychivosti* [Lectures on mathematical theory of stability]. Moskow, Nauka Publ., 1967. 472 p.
2. Zubov V. I. *Kolebaniya v nelineynykh i upravlyaemykh sistemakh* [Oscillations of nonlinear and controllable systems]. St. Petersburg, Sudpromgiz Publ., 1962. 631 p.
3. Kamenskaya S. A. *Analiz i stabilizatsiya sistem s releynym gisterezisnym upravleniem*: *Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* [Analysis and stabilization of systems with relay hysteresis control: Author's summary of Ph. phys. and math. sci. diss.]. St. Petersburg, 2006. 21 p.
4. Mikheev S. E. *Mnogomernaya approksimatsiya i interpolyatsiya* [Many-dimensional approximation and interpolation]. St. Petersburg, 2012. 60 p.
5. Astrom K. J. et al. Recent advances in relay feedback methods – a survey // Proc. IEEE Conf. Systems, Man and Cybernetics. 1995. Vol. 3. P. 2616–2621.
6. Bellman R. Introduction to matrix analysis. McGraw – Hill Book Comp., Inc., 1960. 368 p.
7. Kamackin A. M., Stepanov A. V. Stable periodic solutions of time delay systems containing hysteresis nonlinearities. Topics in Time-Delay Systems: Analysis, Algorithms and control // Springer series Lecture Notes in Control and Information Science. 2009. P. 121–133.
8. Macki W., Nistri P., Zecca P. Matchematical models for hysteresis // SIAM Rev. 1993. Vol. 35. № 1. P. 94–123.
9. Variganda S., Georgiou T. T. Dynamycs of Relay Relaxation Oscillators // IEEE Transactions on automatic control. 2001. Vol. 46. № 1. P. 46–77.

Поступила в редакцию 22.10.2013

Март, № 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 004.93

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОВ
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и анализа данных математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
rogov@petrsu.ru

ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ ШТЕРКЕЛЬ
аспирант кафедры теории вероятностей и анализа данных математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
shterkel_ivan@petrsu.ru

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА СТЕНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ*

Рассматриваются методы распознавания бинарных изображений с целью их сравнения и выделения наилучшего. Тестирование проводилось на коллекции стенографических документов XIX века. Изображения документов получены с помощью фотоаппарата. Качество низкое. Изображения коллекции были сегментированы и прошли бинаризацию. В итоге было получено 5823 символа. Для тестирования методов распознавания из полученной коллекции была выделена контрольная выборка из 234 изображений. В работе приведено описание 3 методов сравнения изображений, их достоинства и недостатки при распознавании рукописных стенографических символов. Полученные результаты позволили определить наилучший метод – метод сравнения форм. С помощью данного метода были получены меры сходства символов для всей коллекции, которые позволили провести кластеризацию коллекции стенографических символов. В итоге коллекция была разделена на 423 класса.

Ключевые слова: рукописные символы, сравнение методов распознавания, стенографические документы, Ф. М. Достоевский, А. Г. Сниткина

ВВЕДЕНИЕ

В современном научном сообществе большое внимание уделяется проблеме автоматизированного распознавания текста. Несмотря на то, что исследования по проблеме оптического распознавания текстов (optical character recognition, OCR) ведутся уже несколько десятилетий, данное направление остается крайне актуальным. В общем виде OCR – это задача перевода изображений текста в текстовые данные, используемые для представления символов в компьютере. Такая постановка задачи является трудноразрешимой, поэтому разработка OCR систем обычно нацелена на распознавание объектов в конкретно заданной области, например, распознавание банковских чеков или почтовых адресов [1]. В данной статье рассматриваются методы распознавания рукописного текста применительно к стенографическим документам, которые относятся к офлайн-методам. Сравнение методов распознавания было проведено на исторических стенограммах [4] А. Г. Сниткиной текстов Ф. М. Достоевского.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении офлайн-распознавания сначала решается задача предварительной обработки изображения, которая состоит из двух частей: 1) бинаризация; 2)сегментация.

В нашем случае бинаризация проводилась пороговым методом с оптимизацией его выбора [5]. Затем изображение было очищено от шумов (рис. 1). Сегментация проводилась автоматизированно. В результате обработки была сформирована коллекция, состоящая из 5823 символов.

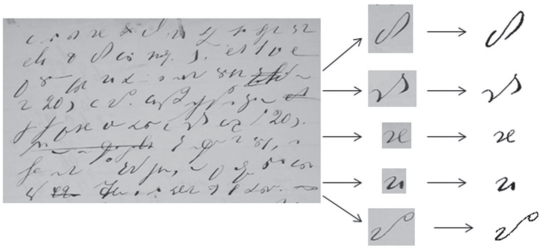


Рис. 1. Фрагмент стенограммы и обработанные символы

Главная особенность коллекции символов заключается в том, что из-за плохого качества изображений стенограмм после обработки появились разрывы символов. Для проведения исследований из общего количества символов было отобрано 234 и создана контрольная выборка.

Признаковые классификаторы основаны на значениях векторов признаков, с помощью которых определяется схожесть изображений.

Сравнение длин отрезков. В качестве меры сходства данный метод использует суммарную разницу между длинами отрезков, построенных по заранее определенным правилам. При сравнении стенограмм соблюдались следующие правила построения: отрезки строятся из угловых то-

© Рогов А. А., Штеркель И. А., 2014

чек, а также из середин отрезков, расположенных на границах изображения, в его центр, до первого касания с точками изображения [4]. Разница между длинами соответствующих отрезков складывается и служит мерой близости. Чем она меньше, тем более схожи изображения. Данный метод отличается высокой скоростью распознавания. Существенным недостатком является снижение точности при увеличении объема алфавита (набора оригинальных символов). Заметим, что данный метод чувствителен к искажениям и разрывам.

Сравнение проекций. Для сравниваемых изображений строятся графики проекций точек изображения на горизонтальную и вертикальную оси. Расстояние между изображениями определяется как суммарная разница между графиками вертикальной и горизонтальной осей [2]. Пример сравнения символов приведен на рис. 2.

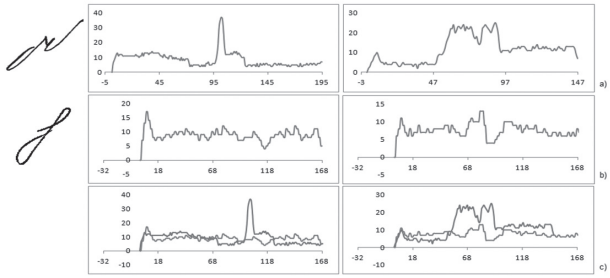


Рис. 2. Примеры проекций точек двух изображений: a) проекции 1-го изображения; b) проекции 2-го изображения; c) сравнение проекций

Вычисления, производимые при сравнении изображений методом проекций, достаточно просты и обеспечивают высокую скорость распознавания. Данный метод, так же как и метод проекций, чувствителен к искажениям и становится менее эффективен при увеличении размерности алфавита.

Структурные классификаторы переводят изображение символа в его топологическое представление, отражающее информацию о взаимном расположении структурных элементов символа.

Метод сравнения форм. Метод основан на определении положения точек изображения относительно друг друга. Случайным образом выбираются N точек изображения символа. Для каждой точки пространство вокруг нее делится на зоны (корзинки), как показано на рис. 3c. Оставшиеся точки, число которых N – 1, распределяются по корзинкам. Примем число корзинок равным K. В результате для каждого изображения получаем массив значений размерности N · K.

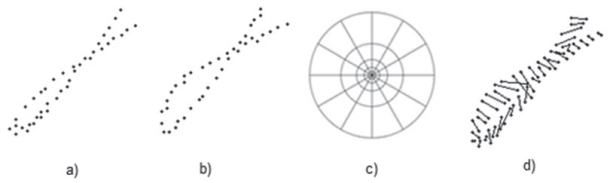


Рис. 3. Метод сравнения форм: a) и b) точки сравниваемых изображений, c) границы корзинок, d) связанные точки

Для того чтобы найти меру сходства изображений, нам необходимо найти суммарное смещение N точек одного изображения относительно N точек другого. При этом точки изображений сопоставляются с помощью решения задачи назначений [6]. Стоимость соединения точек мы определяем на основании распределения точек по корзинкам с помощью критерия X^2.

$$C_{ij} = C(p_i, q_j) = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{K}\frac{[h_i(k) - h_j(k)]^2}{h_i(k) - h_j(k)},$$

где $h_i(k)$ – число точек в k-й корзинке для i-й точки, $i = 1 \ldots N$, $k = 1 \ldots K$.

В качестве исходных данных задачи назначений мы получаем матрицу C со значениями C_{ij}, где $i, j = 1 \ldots N$. Задача назначений решалась Венгерским методом.

$$H(\pi) = \sum_i C(p_i, q_{\pi(i)}),$$

$$\sum_i C(p_i, q_{\pi(i)}) \to \min.$$

В результате получаем сопоставление выбранных N точек двух изображений. За меру сходства принимается суммарное Евклидово расстояние между этими точками. Данный метод устойчив к разрывам, но требует проведения большого числа вычислений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На основе анализа приведенных методов для решения задачи распознавания стенографических символов было решено, что наиболее пригодным является метод сравнения форм. Качество распознавания методов определялось на контрольной коллекции. Пример результатов работы методов приведен в табл. 1. Изображения приведены в порядке возрастания расстояния по сравнению с эталоном. Метод сравнения форм – 1, сравнения длин отрезков – 2, сравнения проекций – 3.

Таблица 1

Поиск символов методами сравнения расстояний, сравнения проекций и сравнения форм

1	эталон	1072	1255	1438	1486	1700	2020	2034	2035	2094	2097
2		12	56	60	66	69	70	77	83	88	88
3		829	837	870	879	905	917	934	938	946	952

Используя контрольную коллекцию, были получены оценки точности, полноты и F-меры, которые приведены в табл. 2. Наилучшие результаты показал метод сравнения форм.

Применение метода сравнения форм для решения задачи кластеризации. Как уже отме-

Таблица 2

Оценки эффективности методов

	Точность	Полнота	F-мера
1	54 %	93 %	0,684
2	48 %	83 %	0,606
3	47 %	86 %	0,615

чалось, метод сравнения форм обладает большой трудоемкостью и поэтому его использование для решения задачи кластеризации вызывает определенные трудности. Однако применение современных информационных технологий, в частности облачных, позволяет справиться с этой трудностью. Для проверки данного утверждения был проведен эксперимент. Коллекция, предназначенная для кластеризации, состояла из 5823 символов. Сложность каждого сравнения двух символов соответствует O (n^4). Для получения мер сходства между всеми символами необходимо было провести $\sum_{i=1}^{5822} i = 16950753$ операций сравнения символов. В рамках облака была организована вычислительная система, сравнения были распределены по 16 потокам. Расчет мер сходства длился 34 часа. В результате коллекция была разбита на 423 класса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты распознавания стенографических символов подтвердили сложность данной задачи. Наилучшие результаты распознавания были получены при использовании метода сравнения форм. Его точность составила 54 %. В дальнейшем авторы предполагают использовать метод комитетов, основанный на нескольких методах распознавания.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горский Н., Анисимов В., Горская Л. Распознавание рукописного текста: от теории к практике. СПб.: Политехника, 1997. 126 с.
2. Дробков А. В., Семенов А. Б. Обзор и анализ распознавателей рукопечатных символов // Математические методы распознавания образов (11–17 сентября 2011). Тверь: Тверской государственный университет, 2011. С. 350–353.
3. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 288 с.
4. Рогов А. А., Скабин А. В., Штеркель И. А. Методы поиска схожих изображений стенографических символов // Информационная среда вуза XXI века: Материалы VII Междунар. научно-практ. конф. Петрозаводск, 2013. С. 170–173.
5. Скабин А. В., Рогов А. А. Бинаризация и выделение символов исторической стенограммы // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2013. № 4 (133). С. 110–114.
6. Belongie, S., Malik, J., Puzicha, J. Shape matching and object recognition using shape contexts // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. Vol. 24. № 4. P. 509–522.

Rogov A. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Shterkel' I. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

COMPARISON OF OBJECT RECOGNITION METHODS ON SHORTHAND REPORTS

The paper presents a set of recognition methods with the aim of comparing and selecting the best one. The research is based on a collection of shorthand reports of the XIXth century. The quality of images is low. Collected images were segmented and transferred into a binary form. Altogether, 5823 symbols were received. A control sample consisting of 234 images was selected from the obtained collection in order to test recognition methods. Three methods of image comparison are considered. Advantages and disadvantages of these methods aimed at recognition of shorthand symbols are presented. Based on the results obtained from methods' analysis, "Shape matching" was proposed as the best recognition method. The similarity measures were computed for all symbols. Subsequent clusterization of the studied collection was performed with the use of computed measures. As a result, the whole collection was divided into 423 classes.

Key words: optical character recognition, comparison of recognition methods, handwritten text, shorthand report, F. M. Dostoevsky, A. G. Snitkina

REFERENCES

1. Gorskiy N., Anisimov V., Gorskaya L. *Raspoznavanie rukopisnogo teksta: ot teorii k praktike* [Recognition of handwritten text: from theory to practice]. St. Petersburg, Politekhnika Publ., 1997. 126 p.
2. Drobkov A. V., Semyenov A. B. Review and analysis of hand printed symbols' recognizers [Obzor i analiz raspoznavateley rukopechatnykh simvolov]. *Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov (11–17 sentyabrya 2011)* [Mathematical methods of pattern recognition (11–17 september 2011)]. Tver': Tver state unversity Publ., 2011. P. 350–353.
3. Mestetskiy L. M. *Nepreryvnaya morfologiya binarnykh izobrazheniy: shapes, skeletons, circulars* [Continuous morphology of binary images: shapes, skeletons, circulars]. Moskow, Fizmatlit Publ., 2009. 288 p.
4. Rogov A. A., Skabin A. V., Shterkel I. A. Searching techniques of similar images of shorthand symbols [Metody poiska skhozhikh izobrazheniy stenograficheskikh simvolov]. *Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Informatsionnaya sreda vuza XXI veka"* [Proc. 7th Int. Scientific Conference "Institution informational environment of higher education of XXI century"]. Petrozavodsk, 2013. P. 170–173.
5. Skabin A. V., Rogov A. A. Binarization and isolation of historical manuscripts' synbols [Binarizatsiya I vydelenie simvolov istoricheskoy stenogrammy]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2013. № 4 (133). P. 110–114.
6. Belongie, S., Malik, J., Puzicha, J. Shape matching and object recognition using shape contexts // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. Vol. 24. № 4. P. 509–522.

Поступила в редакцию 03.03.2014

Март, № 2 **Рецензии** **2014**

УДК 624.012.45.04

ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ КОЛЕСНИКОВ
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механики строительного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
kgn@petrsu.ru

Рец. на кн.: **Н. И. Карпенко, С. Н. Карпенко, А. Н. Петров, С. Н. Палювина. Модель деформирования железобетона в приращениях и расчет балок-стенок и изгибаемых плит с трещинами. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. – 156 с.***

В монографии обобщены результаты совместных исследований коллектива специалистов Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) и Петрозаводского государственного университета под руководством академика-секретаря РААСН, доктора технических наук, профессора Н. И. Карпенко.

Актуальность данных исследований состоит в том, что в современном строительстве отчетливо проявляется тенденция все большего усложнения конструктивных решений зданий и сооружений. Среди таких решений – пространственные каркасы высотных зданий с сильно нагруженными несущими колоннами, стенами и ядрами жесткости, несущие системы многопролетных многоэтажных зданий с нерегулярной сеткой колонн, монолитно связанных с неоднородными фундаментными плитами и плитами перекрытий. Все эти конструкции работают в условиях сложных неоднородных напряженных состояний, что оказывает существенное влияние на характер физической нелинейности железобетона, без учета которой не обеспечиваются необходимая надежность и экономическая эффективность современных проектных решений.

Основным недостатком существующих моделей и методов решения физически нелинейных задач остается то, что они сводят решение к многочисленным итерационным процедурам, реализация которых для сложных пространственных систем, даже при наличии производительной вычислительной техники, становится трудноразрешимой проблемой. Проведенные авторами монографии исследования показали, что указанных трудностей можно избежать, если построить систему физических соотношений не в традиционной (для железобетона) форме – в виде связей между напряжениями и деформациями, а в виде связей между конечными приращениями напряжений и конечными приращениями деформаций. Такие новые зависимости построены для железобетона при одноосном и плоском напряженных состояниях как для анизотропного тела с учетом изменяющейся в процессе деформирования и трещинообразования анизотропии. В монографии исследован комплекс достаточно сложных задач физически нелинейного расчета железобетонных конструкций. Рациональный путь решения этих задач построен с применением предложенного авторами нового подхода, в основе которого – инкрементальная модель деформирования железобетона с трещинами. Такой подход позволяет существенно сократить затраты времени при выполнении расчетов с учетом физической нелинейности. Именно такие расчеты позволяют проследить всю историю напряженно-деформированного состояния конструкции от начала воздействия до полного исчерпания несущей способности.

Главы 1 и 2 монографии посвящены построению определяющих соотношений для железобетона с трещинами в конечных приращениях. За основу авторами принята деформационная модель А. А. Гвоздева – Н. И. Карпенко, согласно которой свойства железобетона с трещинами аппроксимируются свойствами некоторого эквивалентного сплошного анизотропного тела. Авторами преодолены известные трудности, связанные с аппроксимацией железобетона конечными элементами двух типов – отдельно для бетона и арматуры.

Главы 3 и 4 посвящены подробному описанию примеров решения практически важных задач. Рассматривается построение физических соотношений, алгоритма и методики эффективного малоитерационного расчета балок-стенок и изгибаемых плит на основе предложенной нелинейной модели анизотропного тела. Достоверность результатов расчета подтверждена известными по литературе экспериментальными и теоретическими данными. Применение инкрементальной модели позволило получить новые данные, которые представляют интерес для специалистов в данной области прикладных исследований.

Монография отвечает критериям актуальности темы, новизны, достоверности и практической ценности полученных авторами результатов, которые имеют существенное значение для развития нелинейных методов расчета железобетонных конструкций. Применение разработанных методик позволит повысить надежность и экономичность проектных решений несущих конструкций зданий и сооружений.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

Поступила в редакцию 15.01.2014

© Колесников Г. Н., 2014

14 января 2014 года исполнилось 85 лет доктору биологических наук, профессору эколого-биологического факультета, заведующему лабораторией экологических проблем Севера Петрозаводского государственного университета *Леониду Павловичу Рыжкову.*

ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ РЫЖКОВ

К 85-летию со дня рождения

Л. П. Рыжков родился в д. Николаевской Вологодской области. Окончил в 1953 году Карело-Финский государственный университет и аспирантуру. Кандидатскую диссертацию защитил в 1962 году в Армении, докторскую – в 1983 году в Москве. Область научных интересов Л. П. Рыжкова – ихтиология, экология, экологическая физиология водных организмов, ихтиотоксикология, природопользование, аквакультура, экологическое право. Под его руководством подготовлено и защищено 22 кандидатские и 2 докторские диссертации, опубликовано 508 научных статей, 11 монографий и 2 учебника по рыбоводству. Л. П. Рыжков – участник и организатор многих международных, российских и региональных научных конференций, конгрессов ихтиологов, съездов, в их числе: «Крупные озера Европы – Ладожское и Онежское», «Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера». Участник международных проектов «Ладога» и «Большие озера мира», руководитель исследований, выполняемых по грантам, хозяйственным договорам и заказам правительства РК и отдельных предприятий. Действительный член Международной академии НЭБ, заслуженный деятель науки РК и РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ.

5 марта 2014 года исполнилось 75 лет доктору сельскохозяйственных наук, члену-корреспонденту РАЕН, профессору лесоинженерного факультета Петрозаводского государственного университета *Анатолию Петровичу Цареву.*

АНАТОЛИЙ ПЕТРОВИЧ ЦАРЕВ

К 75-летию со дня рождения

А. П. Царев родился в с. Покровское Днепропетровской области (Украина). Закончил в 1953 году Велико-Анадольский лесной техникум (Донецкая область), затем лесохозяйственный факультет Воронежского лесотехнического института, в 1984 году математический факультет Воронежского государственного университета, аспирантуру при кафедре лесоводства Воронежского лесотехнического института. Кандидатская диссертация защищена в 1968 году, докторская – 1986 году в Московском лесотехническом институте. Работал лесничим в Омской области, старшим научным сотрудником в Астраханской лесной опытной станции Всесоюзного НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, старшим научным сотрудником, руководителем научной группы, заведующим лабораторией, отделом, заместителем директора по научной работе Центрального НИИ лесной генетики и селекции, профессором кафедры лесоводства Воронежской государственной лесотехнической академии. С 1995 года по настоящее время – профессор ПетрГУ. Научные интересы связаны с селекцией, сортоиспытанием, разведением, биоразнообразием и экологическими особенностями лесных древесных пород. Список публикаций насчитывает более 200 работ, в том числе 2 монографии и 2 учебника в соавторстве.

14 февраля 2014 года исполнилось 60 лет члену-корреспонденту РАН, доктору медицинских наук, профессору, заведующему кафедрой общей и факультетской хирургии медицинского факультета Петрозаводского государственного университета, члену редакционного совета нашего журнала *Ивану Петровичу Дуданову.*

ИВАН ПЕТРОВИЧ ДУДАНОВ

К 60-летию со дня рождения

И. П. Дуданов родился в г. Чапаевске Куйбышевской области. Закончил Первый Ленинградский медицинский институт им. И. П. Павлова, работал хирургом в Лодейнопольской ЦРБ. В 1985 году защитил кандидатскую диссертацию. Прошел научно-практическую стажировку по сосудистой хирургии в Парижском университете. В 1993 году завершил работу над докторской диссертацией. Под его руководством защищены 25 кандидатских и 7 докторских диссертаций. В 2002 году И. П. Дуданов избран членом-корреспондентом РАМН. В течение 8 лет был членом Президиума СЗО РАН. Автор 9 монографий и руководств, более 100 научных работ, 11 изобретений, член диссертационных советов Северного государственного медицинского университета (г. Архангельск), Российской военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (г. Санкт-Петербург). В ряду первых ангиохирургов в России начал оперировать пациентов с ишемией головного мозга, успешно внедряя новый подход и выполняя ежегодно около 200 вмешательств в Санкт-Петербурге, Тюмени, Ростове и других городах. В течение десяти лет возглавлял Карельский медицинский научный центр СЗО РАМН. Последние четыре года И. П. Дуданов возглавляет один из ведущих российских региональных сосудистых центров в Санкт-Петербурге.

29 января 2014 года исполнилось 50 лет доктору медицинских наук, профессору кафедры госпитальной терапии медицинского факультета Петрозаводского государственного университета *Марине Станиславовне Светловой.*

МАРИНА СТАНИСЛАВОВНА СВЕТЛОВА

К 50-летию со дня рождения

М. С. Светлова родилась в г. Кемь. В 1981 году закончила СОШ № 10 г. Петрозаводска. Училась в Петрозаводском государственном университете, медицинский факультет которого закончила в 1987 году. С 2001 года работает на кафедре госпитальной терапии ПетрГУ, с 2010 года в должности профессора. В 2003 году защитила кандидатскую диссертацию «Применение препаратов алфлутоп и глюкозамина гидрохлорид в лечении больных остеоартрозом». В 2009 году – докторскую диссертацию «Гонартроз ранних стадий: клинико-инструментальная, лабораторная характеристика и болезнь-модифицирующая терапия». Член Ассоциации ревматологов России, Республиканского общества терапевтов. Приоритетное направление научно-исследовательской работы – проблема ранних стадий остеоартроза, а в последние два года – остеоартроза и остеопороза.

Поздравляем юбиляров и от всей души желаем здоровья, дальнейших успехов в практической работе и научной деятельности!

Редакция журнала «Ученые записки Петрозаводского государственного университета»

CONTENTS

BIOLOGY

Vizer S. A., Erzhanov K. B., Andreev V. P.
Novel terms of benzene-1,2-diamine propargylation 7

Dzyubuk I. M., Ryzhkov L. P.
Growth of juvenile rainbow trout in cage farms of Karelia. 11

Kishchenko I. T., Potapova M. N.
Development of introduced species of *Syringa* (*Oleaceae*) in conditions of Karelia 15

Rokhlova E. L., Antipina G. S.
Seed reproduction of running wild plant species in conditions of Southern Karelia 19

Ryzhkov L. P., Onishchenko I. N., Onishchenko N. A., Shustov Yu. A.
features of indigenous lake fish allocation in areas influenced by trout farms 23

Sonina A. V.
Habitat distribution of lichen species in rocky forest communities of Archangelsk region 30

Sikkilya N. S.
Faunal analysis of small mammals inhabiting nature reserve “Kostomukshskiy”. 33

MEDICAL SCIENCE

Dudanov I. P., Ordynets S. V., Berger M. M., Azieva A. Z., Koblov E. S., Zelenin V. V., Merkulov D. V., Teremovskiy N. Yu.
Results on surgical treatment of combined inner carotid artery stenosis and tortuousness in acute period of ischemic stroke. 36

Zhurakhovskaya D. V., Loskutova E. E., Vinogradova I. A.
Evaluation of factors influencing administration of non-steroidal anti–inflammatory drugs 45

Meygal A. Yu., Potemina A. M.
Cyrcannual rhythm of neuromuscular status in humans 48

Pol’skaya I. I., Marusenko I. M., Vezikova N. N.
Characteristic features of gout development in presence of metabolic syndrome. 52

Vasendin D. V.
Peculiariteis of structural changes in thymus under damaging influence (literature review) 59

EARTH SCIENCE

Rybakov D. S.
Pollutant emissions as regional factor of mortality rate change 65

AGRICULTURAL SCIENCE

Tsarev A. P.
Programs of forest tree breeding: foreign and home experience (review). 70

Cherkashina E. V.
Problems of essential oil production development in Russia 77

ENGINEERING SCIENCE

Medvedev P. P.
Morphology of traditional rural settlements of Arkhangelsk Primoshya 80

Nikiforova A. I., Khitrov E. G., Pelymskiy A. A., Grigor’eva O. I.
Two-layer ground draught definition under logging machine passage 87

Rochev A. A.
Calculation of plane frames of inelastic constituents 92

Tikhonov E. A., Tikhomirov A. A.
Water solution acidity change caused by cold plasma treatment 96

PHYSICS AND MATHEMATICS

Malinenko V. P., Pergament A. L., Gorbakov A. O.
Electrical instabilities in thin film structures based on molybdenum oxides 100

Mol’kov S. I.
Influence of mirrors’ misalignment on output characteristics of waveguide gas-discharge lasers . . 107

Kamachkin A. M.
Periodic orbits of same class relay relaxation oscillators 113

Rogov A. A., Shterkel’ I. A.
Comparison of object recognition methods on shorthand reports. 118

Reviews

Kolesnikov G. N.
The book review: Karpenko N. I., Karpenko S. N., Petrov A. N., Palyuvina S. N. “The deformation model of reinforced concrete in increments and analysis of deep beams and bending slabs” 121

Jubilation

To the 85th birthday anniversary of L. P. Ryzhkov. . . 122
To the 75th birthday anniversary of A. P. Tsarev. 122
To the 60th birthday anniversary of I. P. Dudanov . . . 123
To the 50th birthday anniversary of M. S. Svetlova . . 123