ISSN 1998-1643

Министерство образования и науки
Российской Федерации

Научный журнал

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

(продолжение журнала 1947–1975 гг.)

№ 8 (145). Т. 2. Декабрь, 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 РАН
(Петрозаводск)

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

Ю. ИНОУЭ
профессор (Токио, Япония)

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

М. ВОХОЗКА
доктор экономических наук
(Чешские Будейовицы, Чешская Республика)

В. М. ЛЕВИН
доктор физико-математических наук,
профессор (Мехико, Мексика)

Т. П. ЛЁННГРЕН
доктор философии (Тромсё, Норвегия)

В. И. МАЕВСКИЙ
доктор экономических наук, профессор,
академик РАН (Москва)

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)

П. 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)

К. СКВАРСКА
доктор философии (Прага, Чешская Республика)

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

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)

Е. И. РАТЬКОВА
кандидат технических наук,
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)

№ 8 (145). Vol. 2. December, 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 RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)

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

Y. INOUE
Professor (Tokyo, Japan)

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

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

V. LEVIN
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Mexico, Mexica)

T. LÖNNGREN
Doctor of Philosophy (Tromsø, Norway)

V. MAEVSKIY
Doctor of Economic Sciences, Professor (Moscow)

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

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

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

P. 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)

K. SKWARSKA
Doctor of Philosophy
(Praha, Czech Republic)

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

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)

E. RAT'KOVA
Candidate of Technical Sciences,
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

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ивантер Э. В., Курхинен Ю. П., Моисеева Е. А.
Обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* L.) в условиях антропогенной трансформации таежных лесов Восточной Фенноскандии **7**

Гусева Т. Л., Коросов А. В., Беспятова Л. А., Аниканова В. С.
Многолетняя динамика биотопического размещения обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*, Linnaeus 1758) в мозаичных ландшафтах Карелии . . . **13**

Морозова К. В., Гуляева Е. Н., Марковская Е. Ф.
Анатомо-морфологическая характеристика листьев астры солончаковой (*Aster tripolium* L.) на побережье Белого моря **21**

Игнатенко Р. В., Тарасова В. Н.
Состояние популяции охраняемого лишайника лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) в растительных сообществах Петрозаводского городского округа **26**

Бойчук М. А.
Мхи города Петрозаводска (по материалам Гербария Ботанического музея Университета Хельсинки) **31**

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

Ахметов В. В., Дуданов И. П., Азиева А. З., Абуазаб Б. С. А., Теремовский Н. Ю., Завалишин С. Е., Матюшечкин И. В., Стафеева И. В.
Эхографические и ангиоскопические характеристики атеросклеротических изменений сонных артерий у больных с преходящими нарушениями мозгового кровообращения **36**

Антонен Е. Г., Хяникяйнен И. В., Кирсань С. А., Анчеева Е. Г.
Клиническая характеристика болезни Паркинсона в Республике Карелия **41**

Лозовик И. П., Мельцер Р. И., Баракат М. Ф.
Разработка алгоритма решения задач методом конечных элементов для создания математических моделей «кость – фиксатор» **48**

Никифорова Н. А., Карапетян Т. А., Доршакова Н. В.
Оценка заболеваемости язвенной болезнью населения Республики Карелия **51**

Васендин Д. В.
Структурно-функциональные изменения в печени при ожирении (обзор литературы). **57**

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Иванов Н. И., Евстратова Л. П., Николаева Е. В.
К вопросу о рациональном использовании пашни в фермерских хозяйствах **63**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Питухин А. В., Скобцов И. Г.
Оценка надежности системы ROPS лесозаготовительных машин с применением катастрофы сборки **68**

Марков В. И.
Закономерности процесса разрушения отходов лесозаготовок **73**

Степанов А. В., Петров А. Н.
Анализ сети лесовозных дорог Республики Карелия . . **78**

Черняев Л. А., Гаврилов Т. А.
Экспериментальное исследование влияния турбулизации жидкости на параметры теплообменника. . **82**

Гришина И. Е., Кистерная М. В., Козлов В. А.
Комплексная хронологическая атрибуция часовни в заонежской деревне Подъельники **86**

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Дзлиева Е. С., Ермоленко М. А., Карасев В. Ю., Новиков Л. А., Павлов С. И., Полищук В. А., Эйхвальд А. И.
О приложениях левитации пылевых гранул **91**

Мольков С. И.
Дифракционные потери и распределение мощности газоразрядных лазеров по поперечным модам . . . **97**

Дербенева О. Ю., Марахтанов А. Г., Насадкина О. Ю., Печников А. А.
К вопросу о модулярности веб-пространства образовательного учреждения. **104**

Кошкаров А. Л.
On a General Relativity Extension **109**

Гиппиев М. Б., Рогов А. А.
Классификация символов в стенографических документах на основные, надстрочные и подстрочные **115**

Кашуба Е. В., Степанова Е. Н.
О полунормальных функторах, обладающих инвариантным продолжением на категорию Tych. . . **119**

Информация для авторов **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

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

Сведения о журнале и его архиве передаются в ОАО «Агентство "Книга-Сервис"» и размещаются на базовом интернет-ресурсе www.rucont.ru

Журнал и его архив размещаются в «Университетской библиотеке онлайн» по адресу http://biblioclub.ru

Требования к оформлению статей см.:
http://uchzap.petrsu.ru/req.php

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

Редактор С. Л. Смирнова. Корректор И. Н. Дьячкова. Переводчик К. А. Васильева. Верстка Е. В. Бобковой

Подписано в печать 19.12.2014. Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 160 экз.). Изд. № 523

Индекс 66094. 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

Декабрь, № 8. Т. 2 **Биологические науки** **2014**

УДК 599.33:591.5(470.22)

ЭРНЕСТ ВИКТОРОВИЧ ИВАНТЕР
доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой зоологии и экологии, декан эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ivanter@petrsu.ru

ЮРИЙ ПАВЛОВИЧ КУРХИНЕН
доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
kurhinenJ@gmail.com

ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА МОИСЕЕВА
кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ekozoo@petrsu.ru

ОБЫКНОВЕННАЯ БУРОЗУБКА (*SOREX ARANEUS* L.) В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ*

В условиях Восточной Фенноскандии по уровню численности обыкновенная бурозубка (*Sorex araneus* L.) занимает в населении мелких млекопитающих абсолютное первое место (1,7 экз. на 100 ловушко-суток и 5,6 на 10 канавко-суток, соответственно 44,8 и 46,0 % в уловах). Доминирует она и в большинстве обследованных биотопов, причем, как показали многолетние наблюдения (1958–2013 годы), демонстрирует в целом положительную реакцию на рубку лесов: обилие зверьков этого вида и на лесосеках, и в молодняках в среднем в 1,5–2 раза выше, чем в спелых хвойных древостоях. Отмеченная сезонная смена местообитаний напрямую связана с сезонной динамикой численности и ходом размножения. Весной и в начале лета при наименьшей плотности популяции зверьки концентрируются в лучших по экологическим условиям биотопах – в смешанных лесах, травяных сосняках и на вырубках, а во второй половине лета и в начале осени – расселяются значительно шире, занимая практически все подходящие стации. В октябре – начале ноября, перед уходом на зимовку, землеройки вновь переселяются в ельники, смешанные леса, березняки и к жилью человека; в остальных местообитаниях их численность резко падает. Еще отчетливее годовые изменения. В годы и периоды низкой численности зверьки более требовательны к выбору стаций и отдают предпочтение немногим из них, отличающимся наилучшими кормовыми и защитными свойствами, а при высокой плотности расселяются широко и довольно равномерно распределяются по большинству биотопов.

Ключевые слова: землеройки-бурозубки, численность, популяция, динамика численности, трансформация коренных лесов, расселение, лесовозобновление

Обыкновенная бурозубка – один из наиболее многочисленных видов мелких млекопитающих региона [1]. Наряду с рыжей полевкой она доминирует в уловах в большинстве биотопов и при этом, как мы увидим далее, демонстрирует в целом положительную реакцию на рубку леса: обилие зверьков на вырубках и в молодняках в среднем в 1,5–2 раза выше, чем в спелых хвойных лесах. Эти различия при учетах канавками менее радикальны, но тоже существенны (особенно в лиственном мелколесье).

В условиях Восточной Фенноскандии (куда, как известно, относится Кольский полуостров, Финляндия, Карелия и Карельский перешеек Ленинградской области) обыкновенная бурозубка обнаруживается во всех типах местообитаний, но заселяет их с различной плотностью (табл. 1). Если спелые лиственные, преимущественно березовые, насаждения с примесью ели, смешанные хвойно-лиственные леса и изобилующие кормами и убежищами участки возобновляющихся лесосек повсеместно и во все годы наблюдений отличались самой высокой численностью этого вида, то в лишайниковых сосняках, сырых ельниках и на болотах его представители ловились сравнительно редко. Тем не менее каждый из названных биотопов зверьки населяют неравномерно, предпочитая тенистые, влажные и захламленные участки с хорошо развитым подлеском, мощной рыхлой подстилкой и густым высоким травостоем. Особенно высокая плотность отмечена по берегам водоемов (озер, речек, ручьев) и на приболотных террасах. Вместе с тем и сухих, возвышенных участков землеройки, по-видимому, не избегают, хотя встречаются здесь в заметно меньшем

© Ивантер Э. В., Курхинен Ю. П., Моисеева Е. А., 2014

количестве. Отмеченное выше тяготение землероек к водоемам и окраинам болот согласуется и с наблюдениями А. Н. Формозова [4], согласно которым землеройки нуждаются в воде, много и охотно пьют. И все же по сравнению с другими видами землероек обыкновенная бурозубка при всей ее гидрофильности тяготеет к относительно сухим участкам, поэтому и заселяет более разнообразные биотопы.

Биотопическое размещение обыкновенной бурозубки на протяжении года заметно меняется (табл. 2), что связано как с различным уровнем размножения зверьков в разных местообитаниях, так и с перемещениями их из стации в стацию (обусловленными изменениями погодных условий и состоянием кормовой базы), приводящими к перераспределению численности популяций. Весной и в первую половину лета (в июне) наибольшая численность вида была отмечена в смешанных лесах, травяных сосняках, ельниках-зеленомошниках и на вырубках, где лучше микроклиматические условия и выше концентрация беспозвоночных. В лишайниковых борах она была крайне низкой, а в прочих стациях – средней. В июле и августе и особенно в начале осени бурозубки расселялись значительно шире и стали встречаться во всех биотопах, причем численность их всюду значительно возрастала. В августе наиболее заселенными биотопами становятся березняки, а численность бурозубок в остальных угодьях заметно сокращается. В октябре, перед уходом на зимовку, землеройки вновь переселяются в ельники, смешанные леса, березняки и к жилью человека; в остальных местообитаниях их численность резко падает.

Такое сезонное перераспределение популяции по биотопам напрямую связано с сезонной динамикой численности. Весной, когда плотность популяции низка, зверьки концентрируются в немногих излюбленных стациях, на участках с лучшей инсоляцией, где раньше сходит снег и больше питательного корма. В конце июня – июле,

Таблица 1

Биотопическое размещение обыкновенной бурозубки в Карелии (по всем годам и районам исследований в бесснежный период)

Биотоп	Отработано		Добыто		Численность		Доля в уловах, %	
	ловушко-суток	канавко-суток	ловушки	канавки	на 100 ловушко-суток	на 10 канавко-суток	ловушки	канавки
Сосняки лишайниковые	10391	110	20	62	0,19	5,64	15,3	54,4
Сосняки-зеленомошники	53410	4139	574	1849	1,07	4,47	39,3	40,2
Ельники-зеленомошники	109754	916	1260	959	1,15	10,47	37,0	55,6
Ельники заболоченные	6385	–	6	?	0,09	?	7,2	?
Смешанные хвойно-лиственные леса	31609	159	570	59	1,80	3,71	48,5	44,0
Спелые лиственные леса	68857	319	1220	357	1,77	11,19	53,1	64,2
Лиственное мелколесье	37334	1694	706	1087	1,89	6,42	46,2	56,4
Вырубки	22045	86	717	28	3,25	3,26	54,1	73,6
Луга и другие с.-х. угодья	27119	402	506	284	1,87	7,06	39,9	60,4
Окраины болот	1075	71	5	62	0,47	8,73	26,3	60,8

Примечание. Знак вопроса означает, что учеты не проводились.

Таблица 2

Сезонные изменения в биотопическом размещении обыкновенной бурозубки по данным учетов ловушками (в числителе дроби – число зверьков на 100 ловушко-суток, в знаменателе – доля от улова, %)

Биотопы	Весна	Лето	Осень	Зима
Сосняки лишайниковые	?	0,2/15,0	1,0/16,1	?
Сосняки-зеленомошники	0,1/100,0	1,2/48,6	1,1/32,0	0,7/100,0
Ельники-зеленомошники	0,4/36,1	0,9/40,0	1,4/36,2	1,3/18,2
Смешанные хвойно-лиственные леса	?	0,1/8,5	–	?
Спелые лиственные леса	0,7/65,5	1,5/55,0	2,5/39,6	1,8/72,0
Ельники заболоченные	0,3/47,0	1,7/55,4	1,8/47,6	2,3/100,0
Лиственное мелколесье	?	0,8/40,0	1,7/29,2	?
Вырубки	?	2,1/49,0	3,2/55,0	?
Луга и другие с.-х. угодья	0,3/15,4	0,4/14,7	0,9/19,1	1,7/15,6
Окраины болот	?	0,6/14,3	0,7/36,4	?
По всей территории	0,4/43,0	1,1/48,3	1,5/33,7	1,7/57,4

после перехода молодых первого помета к самостоятельной жизни, начинается их массовое расселение. Бурозубки постепенно занимают все пригодные для жизни местообитания и к августу, когда численность популяции приближается к максимуму, встречаются уже во всех биотопах. С наступлением холодов картина снова меняется. В начале октября численность, а вместе с ней и уловы бурозубок резко сокращаются. Взрослые зверьки и значительная часть более взрослых прибылых погибают, другие же (в большинстве это молодые, родившиеся во второй половине лета и позднее) переходят к скрытому образу жизни и концентрируются на участках с оптимальными кормовыми и защитными условиями.

Еще отчетливее годовые изменения в характере биотопического размещения популяции. В годы низкой численности зверьки более требовательны к выбору стаций и отдают предпочтение немногим из них, отличающимся наилучшими кормовыми и защитными свойствами (ельникам с примесью лиственных пород, смешанным хвойно-лиственным и спелым лиственным лесам), а при высокой плотности распространяются широко и довольно равномерно распределяются по большинству биотопов.

В целом при всей общей эвритопности обыкновенная бурозубка проявляет достаточно четкую избирательность к местообитанию, тяготея к самым кормным, богатым убежищами местам, и прежде всего к лесам разнообразного состава, более разреженным и захламленным, а также к берегам водоемов и участкам по краям болот. И все же, по сравнению с другими видами землероек, обыкновенная бурозубка менее прихотлива к биотопическим условиям и распределяется по территории равномернее.

Как уже говорилось, обусловленная массовыми рубками фрагментация хвойных лесов и формирование мозаичного (с обилием опушек) ландшафта положительно сказываются на численности обыкновенной бурозубки Восточной Фенноскандии (см. табл. 2). Высокие показатели обилия отмечены в недорубах, семенных куртинах и в опушечных зонах. Здесь же зафиксированы и максимальные индексы доминирования вида. Вместе с тем увеличение численности бурозубок на вырубках не безусловное явление. В некоторых случаях (например, при заболачивании вырубок) наблюдается обратная картина – снижение показателей отлова или сокращение индекса доминирования в пользу других видов.

В сомкнутом сосновом жердняке обыкновенная бурозубка может даже уступать первенство в уловах средней и малой бурозубкам (табл. 3). Однако в антропогенном ландшафте при более высокой плотности населения вида амплитуда ее колебаний по годам выше, чем в незатро-

Таблица 3

Изменения численности и соотношения видов землероек-бурозубок в коренных и трансформированных рубками биотопах

Биотоп	Обыкновенная бурозубка			Средняя бурозубка			Малая бурозубка		
	I	II	III	I	II	III	I	II	II
Учеты ловушко-линиями									
Сосняки зеленомошные, спелые	1,7	35	93	0,06	1,0	3,5	0,06	1,0	3,5
Ельники зеленомошные, спелые	1,6	34	91	0,08	1,2	4,5	0,08	1,2	4,5
Открытые вырубки	3,7	41	97	0,01	0,1	0,4	0,1	1,1	2,6
Молодняки 6–20 лет	2,8	39	95	0,04	0,6	1	0,12	1,5	4,0
21–40 лет	0,6	23	82	0,1	4,0	14	0,03	1,0	4,0
Вторичные древостои 50–80 лет	2,2	46	94	0,03	0,4	2	0,1	3,0	4,0
Семенные куртины	1,6	38	94	–	–	–	0,1	2,0	6,0
Недорубы	2,8	39	100	–	–	–	–	–	–
Экотоны (лес-вырубка)	3,0	26	94	0,1	1,0	3	0,1	1,0	3,0
Учеты ловчими канавками									
Сосняки зеленомошные, спелые	2,1	36	74	0,1	2	5	0,6	12	21
Ельники зеленомошные, спелые	2,0	53	71	0,5	13	18	0,3	7	11
Открытые вырубки	2,1	47	84	–	–	–	0,4	9	16
Молодняки 6–20 лет	2,9	64	88	0,1	1	3	0,3	7	9
20–30 лет (смешанные)	1,7	39	96	0,03	3	2	0,03	3	2
20–40 лет (хвойные)	–	–	–	0,5	50	50	0,5	50	50
Вторичные древостои 50–80 лет	1,1	24	46	0,2	4	8	1,1	24	46
Семенные куртины	2,1	31	53	0,3	4	7	1,6	23	40
Недорубы	3,5	66	78	0,3	5	7	0,7	12	15

Примечания. I – численность – экз. на 100 ловушко-суток или на 10 канавко-суток; II – % от улова мелких млекопитающих; III – % от улова землероек.

нутых рубками лесах [2]. При этом темп роста показателей учета в начале бесснежного периода (от весны к середине лета) в антропогенном ландшафте был значительно выше. Численность обыкновенной бурозубки здесь достигает максимальных величин в середине лета и к осени почти не меняется, тогда как в крупных массивах хвойных лесов основной прирост популяции наблюдается в конце лета (рис. 1). В этом проявляется радикальное отличие сезонной динамики численности обыкновенной бурозубки в трансформированном и незатронутом рубками ландшафтах.

Характерно, что и в пределах антропогенного ландшафта увеличение показателя численности

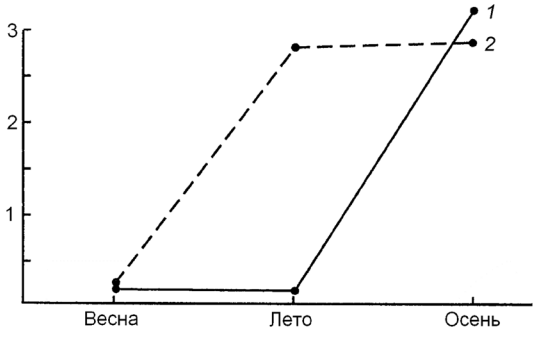


Рис. 1. Особенности сезонной динамики обилия обыкновенной бурозубки на заповедной территории (*1*) и в трансформированном рубками ландшафте (*2*). По оси ординат дана численность, экз. на 100 ловушко-суток

зверьков в первой половине лета на вырубках и в молодняках выражено сильнее, чем в сомкнутых насаждениях (сосняки, древостои 40–50 лет). Это может быть связано с опережением сроков начала размножения и, по-видимому, более высокими его темпами в начальный период в молодняках 6–15 лет, где сроки наступления весенних фенологических явлений (образование наста и снеготаяние, начало вегетации травянистой растительности, активность насекомых) опережают таковые в сомкнутых древостоях.

Вырубки и молодняки до 15–16 лет также являются хорошими летними стациями обыкновенной бурозубки. Тем не менее осенью они значительно уступают по численности землероек соснякам и особенно молоднякам. Следует отметить, что обыкновенные бурозубки отлавливались нами на открытых вырубках и зимой, причем с достаточно высокой частотой (например, в 1982 году – 3–6 экз. на 100 ловушко-суток). Здесь показатель учета был значительно (в 2–3 раза) выше, чем в спелых сосняках (2,0 экз. на 100 ловушко-суток). Численность в сомкнутом сосново-лиственном молодняке (18 лет) в этот же период составила 1,1 экз. на 100 ловушко-суток. По-видимому, в «нормальные», с достаточным количеством осадков, зимы на вырубках создаются неплохие условия для зимовки зверьков, тем более что вырубки и молодняки 6–15 лет характеризуются глубоким и рыхлым снежным покровом. В период межсезонья (весна, осень) действие экстремальных значений температуры и влажности воздуха слабее выражено в сомкнутых хвойных древостоях.

Таким образом, в первые 15–20 лет после сплошной концентрированной рубки хвойных лесов на лесосеках наблюдается увеличение численности обыкновенной бурозубки, причем оно отмечается как при отловах давилками, так и при учетах ловчими канавками. В этот период отмечен и более высокий, чем в спелых хвойных лесах, индекс доминирования вида. К тому же, несмотря на общий относительно высокий уровень численности зверьков, показатель их отлова на открытых вырубках и в молодняках более резко колеблется по годам, чем в контроле (территория заповедника «Кивач»).

В то же время изменения численности обыкновенной бурозубки на вырубках, остающихся после рубки сосняков и ельников, имеют характерные особенности. Они зависят как от типа вырубаемого леса, так и от характера очистки лесосек и типа вырубки. Играет роль и влажность местообитания: зверьки избегают как сухих, так и заболоченных вырубок, однако тяготеют к лесосекам с высоким, но проточным увлажнением, развитым травяно-кустарничковым ярусом и сильной захламленностью.

Появление на вырубках подроста не сказывается отрицательно на численности вида. Тем не менее в сомкнутых древостоях, через 30–40 лет после рубки, показатель учета зверьков оказался самым низким (при сравнительно высоком индексе доминирования). В древостоях более старшего возраста (свыше 50 лет) численность зверьков вновь возрастает. Оставляемые недорубы и семенные куртины существенно не влияют на размещение зверьков. И все же гетерогенность местообитаний, наличие опушек и общая мозаичность территории выгодно отражаются на обилии обыкновенных бурозубок даже в неблагоприятные по погодным условиям годы.

Как показывают данные многолетних учетов в Приладожье (рис. 2), численность обыкновенной бурозубки испытывает в условиях Севера резкие колебания по годам. Масштабы отловов в одноименных биотопах в сходные сроки могут увеличиваться в 5–10, а в некоторых случаях в 15–20, а то и в 30 и даже в 50–80 раз. Годы высоких подъемов (пиков численности) повторялись через 2–6 лет, а падения – с периодичностью в 1–3 года. При этом пики отличались кратковременностью (продолжительностью 1, максимум 2 года), а депрессии же, напротив, длительностью (до 4 и даже 6 лет). К тому же, как уже отмечалось выше, изменения численности землероек-бурозубок и лесных грызунов проходят обычно несинхронно и контролируются разными факторами. Так, У. Скарен [7], на протяжении многих лет изучавший движение численности мелких млекопитающих в Восточной Финляндии, свя-

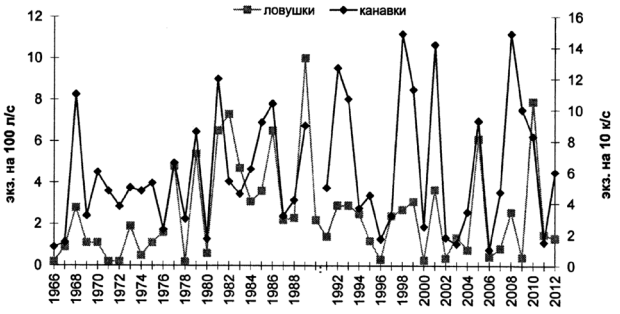


Рис. 2. Многолетняя динамика численности обыкновенной бурозубки в Восточной Фенноскандии

зывает это со значительной зимней смертностью бурозубок, вследствие чего весеннее размножение их обычно начинается с самой низкой плотности, тогда как численность лесных полевок, и в частности рыжей, обычно нарастает в течение двух или более лет подряд.

Наши материалы, прежде всего собранные в период 1958–1973 годов, когда метеостанции республики еще включали в свою работу регулярные наблюдения за снежным покровом (от чего в дальнейшем, к сожалению, отказались), показали весьма четкую прямую связь между численностью землероек и глубиной снега (рис. 3). Это хорошо согласуется с данными А. Н. Формозова [4], полученными в Костромской области, и выводами В. А. Попова [3] по Волжско-Камскому краю. Зависимость численности зверьков от глубины (высоты) снежного покрова легко объяснима. В суровые малоснежные зимы почва глубоко промерзает и бурозубки гибнут от холода и недостатка пищи. Кроме того, зверьки, выгнанные морозом и голодом на поверхность, чаще становятся добычей хищников.

Яркую картину массовой гибели землероек в результате неблагоприятных метеорологических условий мы наблюдали, например, в ноябре – декабре 1959 года. В тот год стояла очень морозная малоснежная зима. Снег выпал поздно, и невысокий снежный покров установился лишь в самом конце декабря. Морозы же ударили значительно раньше, и не защищенная снегом почва промерзла на большую глубину. В конце ноября тысячи застигнутых морозом бурозубок вышли на поверхность в поисках пропитания и, не находя его, массами гибли, замерзая или становясь легкой добычей хищников. Множество их трупов, в том числе и со следами зубов (хищники нередко умерщвляют землероек, но не едят их), мы находили на дорогах и тропах. В это время наблюдалось форменное «паломничество» бурозубок в поселки. Они забирались в стога сена, подполья, сараи, чуланы и даже в дома. Крошки хлеба и другие не убранные со стола остатки еды за ночь полностью исчезали, подобранные приютившимися в комнате зверьками. Подобное же явление имело место в ноябре 1969, в феврале

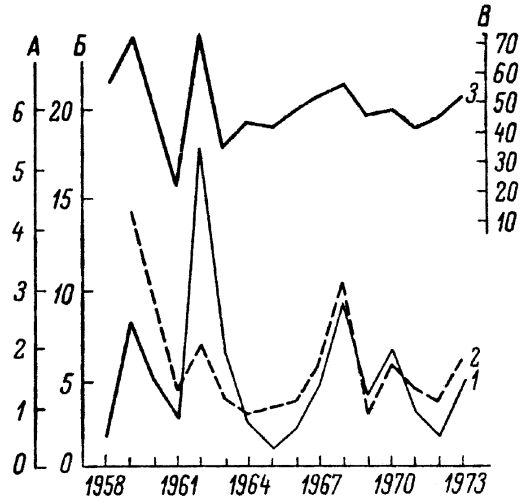


Рис. 3. Изменения численности обыкновенной бурозубки в расчете на 100 ловушко-суток (*1*) и канавко-суток (*2*) в зависимости от высоты снежного покрова (*3*) в разные годы. По оси А дано число зверьков на 100 ловушко-суток, по оси Б – число зверьков на 10 канавко-суток, по оси В – средняя высота снежного покрова в январе – феврале, см

1970, да и в более поздние годы, когда неожиданная оттепель привела к разрушению снежного покрова, а наступившие вслед за этим морозы пришлись на голую, не защищенную снегом почву. Это привело к массовой гибели землероек, ослаблению их популяции и сокращению численности на следующий год. Связь численности зверьков с условиями перезимовки прослеживается и при сопоставлении ее с температурой в лесной подстилке, на поверхности почвы и на разной ее глубине. Определенную роль играют также влажность, осадки и температура воздуха в бесснежный период, влияющие не столько на самих зверьков, сколько на количество и доступность их основного корма: летом это почвенные беспозвоночные, а зимой – семенной опад хвойных деревьев.

Некоторые авторы указывают на роль гельминтов как фактора, напрямую лимитирующего численность популяций *Soricidae* [5], [6], [8]. Однако, на наш взгляд, прямая связь между численностью гельминтов и плотностью популяции землероек – их хозяев отражает не зависимость хозяина от паразита, а зависимость паразита от хозяина. При повышении плотности населения землероек создаются условия (включающие учащение контактов между особями, ослабление и снижение сопротивляемости организма хозяина и др.), способствующие распространению и усилению инвазии.

Сезонные изменения численности обыкновенной бурозубки в исследуемом регионе несколько различаются по срокам и темпам в разные годы и в разных местах в зависимости от численности и состава населения, состояния популяции, интенсивности размножения и уровня

смертности зверьков. Вместе с тем общая схема процесса сохраняется: численность зверьков резко возрастает от мая к июлю, достигает максимума в августе – сентябре, резко снижается к ноябрю – декабрю, стабилизируется зимой и вновь сокращается в апреле – мае (годовой минимум). Тем не менее в этот определяемый общим ходом популяционного роста естественный динамический процесс могут вмешаться побочные, а то и просто случайные факторы. Характерными примерами могут служить, например, неожиданные и притом чрезвычайно резкие увеличения показателей учетов, зафиксированные в феврале 1970, январе 1971, ноябре 1987 года, и ряд других случаев, которые объяснялись не ростом численности зверьков, а повышением их двигательной активности и соответствующим учащением попадаемости в ловушки, что, в свою очередь, оказалось связанным с аномальными изменениями погоды.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
2. Курхинен Ю. П., Данилов П. И., Ивантер Э. В. Млекопитающие Восточной Фенноскандии в условиях антропогенной трансформации таежных экосистем. М.: Наука, 2006. 208 с.
3. Попов В. А. Млекопитающие Волжско-Камского края. Казань, 1960. 468 с.
4. Формозов А. Н. Мелкие грызуны и насекомоядные Шарьинского района Костромской области в период 1930–1940 гг. // Материалы по грызунам. М.: МОИП, 1948. Вып. 3. С. 3–110.
5. Borowski S., Dehnel A. Materialy do biologii *Soricidae* // Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska. 1952. Sect. C. Vol. 7. № 6. P. 305–448.
6. Buckner C. H. Some aspects of the population ecology of the Common Shrew, *Sorex aranews,* near Oxford, England // J. Mamm. 1969. Vol. 50. № 2. P. 326–332.
7. Skaren U. Fluctuations in small mammal population in mossy forests of Kuhmo, eastern Finland, during eleven years // Ann. Zool. Fenn. 1972. Vol. 9. № 3.
8. Okhotina M., Nadtochy E. Effect of Mammonidula asperocutis Sadovskaja in Skrjabin, Sihobalova et Sule, 1954 (Nematoda), on the poopoulation size of shrews of genus Sorex // Acta parasitol. Polonica. 1970. Vol. 18. № 8.

Ivanter E. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Kurkhinen Yu. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation
Moiseeva E. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

SOREX ARANEUS (L.) UNDER THE ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF THE EASTERN FENNOSCANDIA TAIGA FORESTS

In the East Fennoscandia, common shrew (*Sorex araneus* L.) takes absolutely the first place according to the population of small mammals (1,7 ind. per 100 trap-days, and 5,6 ind. per 10 groove-days, respectively, 44,8 and 46,0 % at catches). It dominates in the most of surveyed habitats. As long-term observations (1958–2013) show, it demonstrates positive reaction to deforestation in general: the abundance of this species is on average 1,5–2 times more at harvesting areas and the young forests than at mature boreal stands. Mentioned season change of habitat is directly related to seasonal population dynamics and reproduction way. In spring and earlier summer, when population density is the lowest, animals are concentrated at the best environmental conditions. There are mixed forests, herbal pines and timbered felling. In the second half of the summer and earlier autumn shrews settle much broader, occupying almost all suitable habitats. In October and earlier November, before hibernation, shrews resettle in spruce forests, mixed and birch forests, and people's shelters. Its number falls sharply at other habitats. Annual changes are even more clearly. During years and periods of low population animals are more demanding to the choice of habitats and prefer a few of them with the best forage and cover. On the other hand, if there is a high density of shrews, its settle widely and evenly distributed in most habitats.

Key words: shrews, headcount, population, population dynamics, indigenous forest transformation, dispersal, reforestation

REFERENCES

1. Ivanter E. V. *Populyatsionnaya ekologiya melkikh mlekopitayushchikh taezhnogo Severo-Zapada SSSR* [Population ecology of small mammals in North-Western taiga of the USSR]. Leningrad, Nauka Publ., 1975. 246 p.
2. Kurkhinen Yu. P., Danilov P. I., Ivanter E. V. *Mlekopitayushchie Vostochnoy Fennoskandii v usloviyakh antropogennoy transformatsii taezhnykh ekosistem* [Mammals of East Fennoscandia in the context of Anthropogenic Transformation of Taiga Ecosystems]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 208 p.
3. Popov V. A. *Mlekopitayushchie Volzhsko-Kamskogo kra*ya [Mammals Volga-Kama region]. Kazan, 1960. 468 p.
4. Formozov A. N. Small rodents and insectivorous the Sharyinsky region of the Kostroma region during 1930–1940 [Melkie gryzuny i nasekomoyadnye Shar'inskogo rayona Kostromskoy oblasti v period 1930–1940 gg.]. *Materialy po gryzunam.* Moscow, MOIP Publ., 1948. P. 3–110.
5. Borowski S., Dehnel A. Materialy do biologii *Soricidae* // Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska. 1952. Sect. C. Vol. 7. № 6. P. 305–448.
6. Buckner C. H. Some aspects of the population ecology of the Common Shrew, *Sorex aranews,* near Oxford, England // J. Mamm. 1969. Vol. 50. № 2. P. 326–332.
7. Skaren U. Fluctuations in small mammal population in mossy forests of Kuhmo, eastern Finland, during eleven years // Ann. Zool. Fenn. 1972. Vol. 9. № 3.
8. Okhotina M., Nadtochy E. Effect of Mammonidula asperocutis Sadovskaja in Skrjabin, Sihobalova et Sule, 1954 (Nematoda), on the poopoulation size of shrews of genus Sorex // Acta parasitol. Polonica. 1970. Vol. 1 8. № 8.

Поступила в редакцию 25.07.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Биологические науки** **2014**

УДК 599.35/.38

ТАТЬЯНА ЛЕОНИДОВНА ГУСЕВА
аспирант кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
tan86276066@yandex.ru

АНДРЕЙ ВИКТОРОВИЧ КОРОСОВ
доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
korosov@psu.karelia.ru

ЛЮБОВЬ АЛЕКСЕЕВНА БЕСПЯТОВА
кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории паразитологии животных и растений, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
gamasina@mail.ru

ВАЛЕНТИНА СЕМЕНОВНА АНИКАНОВА
кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории паразитологии животных и растений, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
gamasina@mail.ru

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА БИОТОПИЧЕСКОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЫКНОВЕННОЙ БУРОЗУБКИ (*SOREX ARANEUS*, LINNAEUS 1758) В МОЗАИЧНЫХ ЛАНДШАФТАХ КАРЕЛИИ

С 1994 по 2014 год проводилось изучение динамики численности обыкновенной бурозубки и ее распределения по биотопам в среднетаежных экосистемах юга Карелии (Кондопожский район, д. Гомсельга). Всего отработано 60559 давилко-суток, отловлено 1532 особи обыкновенной бурозубки. В результате дешифрирования карт и космических снимков по характеру растительности (среднего и высокого разрешения) получены электронные ГИС-карты 10 типов биотопов для 14 временных срезов (за 1960, 1970, 1973, 1975, 1984, 1986, 1989, 2001, 2003, 2005, 2009, 2013 годы). Динамика растительного покрова выражается в росте площади антропогенных местообитаний (вырубки разного возраста) и существенном снижении площадей естественных лесных стаций. Отловы показывают, что численность обыкновенной бурозубки в теплый период года обычно выше в антропогенных местообитаниях, чем в лесных биотопах, однако выживаемость зверьков зимой и весной, напротив, существенно выше в спелых лесах. Многолетняя динамика населения бурозубок состоит в общем росте численности в лесных местообитаниях и снижении в антропогенных. В целом, численность популяции бурозубки на локальной территории определяется соотношением площадей естественных и антропогенных стаций, которые отличаются по условиям обитания и в которых векторы процессов размножения и выживания обыкновенной бурозубки разнонаправленны.

Ключевые слова: обыкновенная бурозубка, биотопическое размещение, динамика численности, ГИС

ВВЕДЕНИЕ

Обыкновенная бурозубка – типичный таежный вид семейства землеройковые, обитает во всех биотопах, но населяет их с различной плотностью [6]. Как и другие землеройки, эта бурозубка тесно не связана с каким-либо участком суши и постоянно передвигается по всей территории индивидуального участка [5]. Условия жизни обыкновенной бурозубки в разных типах биотопов сильно отличаются, в том числе по сезонам [4], так что изучить динамику населения бурозубок в таежных экосистемах можно лишь учитывая свойства отдельных местообитаний. В этом контексте была поставлена цель работы – выяснить связь между динамикой численности вида и его биотопическим распределением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили с 1994 по 2014 год на территории средней тайги южной Карелии, в Кондопожском районе, в окрестностях д. М. Гомсельга (62.04° с. ш., 33.55° в. д.), на базе научного стационара ИБ КарНЦ РАН. Отлов животных производили стандартными методами с помощью давилок трапиковых и Геро в течение всех сезонов исследуемых лет. Расположение линий давилок наносилось на карту, которую затем оформили в виде электронной карты среды ГИС. Камеральную обработку животных

© Гусева Т. Л., Коросов А. В., Беспятова Л. А., Аниканова В. С., 2014

выполняли стандартными методами [7], [12]. Относительную численность выражали числом особей на 100 давилко-суток. Всего за 20 лет исследований отработано 60559 давилко-суток, отловлено 1532 особи бурозубки обыкновенной. Полученные данные заносились в базу данных MS Access, откуда извлекались в полуавтоматическом режиме для дальнейшей обработки. Для расчета абсолютной численности популяции обыкновенной бурозубки были использованы данные учета в давилки. Пересчет относительной численности (экз./100 д.-с.) землероек в единицы плотности населения (экз./га) производили с использованием условного коэффициента 4, рекомендуемого для многих видов Micromammalia [11], [13].

На изучаемой территории выделили 10 типов биотопов по основному физиономическому признаку – характеру растительности. Районирование территории выполнялось по результатам дешифрирования общедоступных космических снимков, представленных на сайте EarthExplorer (2014) [17]. Цель дешифрирования состояла в том, чтобы, во-первых, разграничить лесные территории на ясно различимые категории – хвойные, смешанные и лиственные, во-вторых, выделить акватории (озера) и открытые территории (болота, луга, свежие вырубки). Использовались снимки за 1970, 1973, 1975, 1984, 1986, 1989, 2001, 2003, 2005, 2009, 2013 годы. Кроме того, был выполнен анализ карты, созданной в 1962 году, и обозначены вырубки, которые были проведены до 1960 года (отражены на карте) и после 1962 года (видны на снимке 1970 года). После дешифрирования карт и снимков было получено 12 электронных векторных карт (слоев), отражающих постепенное изменение характера растительности в районе исследований (рис. 1). В результате нашего анализа стало известно время образования каждой из вырубок. С течением времени происходят закономерные сукцессионные изменения биотопов – местообитаний бурозубок.

В период от рубки древостоя до смыкания крон древесных растений по состоянию возобновления древесной растительности существует 3 стадии сукцессии [8]. Первая стадия (1–2 года после рубки) нами названа *свежей вырубкой*, она характеризуется уничтожением лесного фитоценоза, образованием «открытых» фитоценозов [16]. По данным А. М. Крышень [8], на 2–3-й год после рубки (по данным Н. Г. Улановой, на 3–6-й [16]) происходит зарастание вырубки кустарником с проявлением 3–4 доминантных видов растений. Мы назвали эту стадию *молодой вырубкой.* Древесные породы, за исключением подроста, оставленного на вырубке, находятся в пространстве травянистого яруса. Доминантами становятся малина, вейники, ситник, иван-чай и щучка [16]. Третья стадия сукцессии (по данным Н. Г. Улановой, 7–11-й годы после рубки древостоя) начинается с момента выхода по высоте возобновления древесных пород, таких как береза, осина и ива козья, из пространства травяного яруса и может быть охарактеризована как переходная к стадии молодняка [8]. Эту стадию сукцессии мы назвали *зарастающей вырубкой*. Спустя 12–17 лет после рубки образуются сомкнутые *молодые лесные сообщества*. С 18 лет флористический состав приближается к лесному и полностью формируется лесная экосистема. К 70 годам после рубки образуется *лиственный лес*: первый ярус занимают лиственные, в подросте – хвойные породы деревьев. Формирование *смешанного леса* отнесено нами к возрасту 71–100 лет после рубки: первый ярус делят лиственные породы деревьев (спелые) с хвойными. *Хвойный лес* (101 год и старше) – это спелые сомкнутые хвойные лесные сообщества; в напочвенном покрове преобладает мох [16]. Некоторые авторы придерживаются другой классификации сукцессий биотопов, происходящих после рубки коренных древостоев [10].

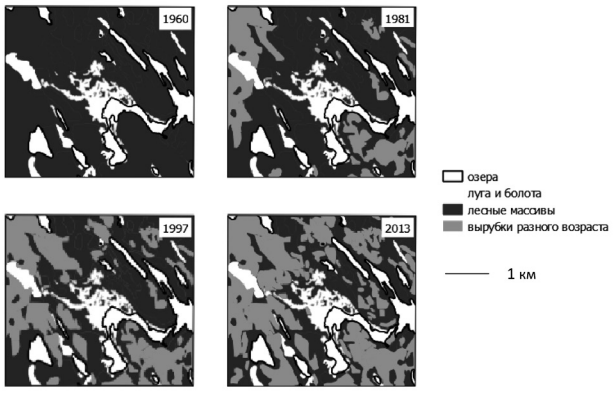


Рис. 1. Соотношение лесных биотопов и разновозрастных вырубок в районе работ в разные годы

Соотнеся тип лесных насаждений с возрастом их формирования [16], для изученного района мы получили многослойную карту распространения биотопов разного возраста в любой момент времени за последние 60 лет.

Для обобщенного представления результатов нашего анализа биотопы были объединены в две категории: антропогенные (стадии сукцессии вырубок до молодого леса включительно) и естественные, лесные.

На каждой из 12 полученных карт рассчитывались площади всех типов биотопов. Для последних 20 лет ряд оценок площадей различных типов таежных местообитаний был получен за каждый год исследований. Все ГИС-исследования проводились в среде программы настольной картографии QuantumGis (QGIS, 2014). Ведение баз данных осуществлялось в среде Access, промежуточные расчеты и иллюстрации выполнены в среде Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Многолетние наблюдения показали широкое варьирование численности обыкновенной бурозубки по годам, сезонам и биотопам. За весь период наблюдений отмечено 5–6 циклов популяционной динамики (с периодом 3–4 года). На фазе популяционного пика численность достигает в среднем 5,0 экз./100 д.-с. (рис. 2), а в некоторых биотопах в августе – до 20,0 экз. (таблица). Несмотря на флуктуации, тренды в динамике численности отсутствуют; средняя численность составляет 2,5 экз./100 д.-с.

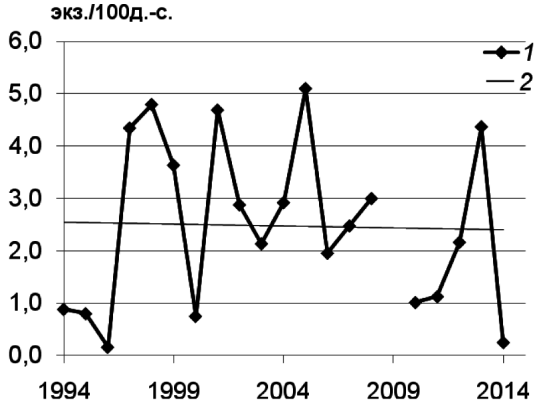


Рис. 2. Динамика средней многолетней численности обыкновенной бурозубки в районе работ (*1*) и общий тренд (*2*)

Эти материалы отражают в основном позднелетний уровень численности, в другие сезоны картина закономерно иная. В зимний период она близка к позднелетней как в годы пика (в августе 2001 года 8,0, в январе 2002 года 5,7 экз./100 д.-с.), так и в годы депрессии (в августе 2000 года 2,0 экз./100 д.-с., в январе 2001 года 0,5 экз./100 д.-с.) (рис. 3).

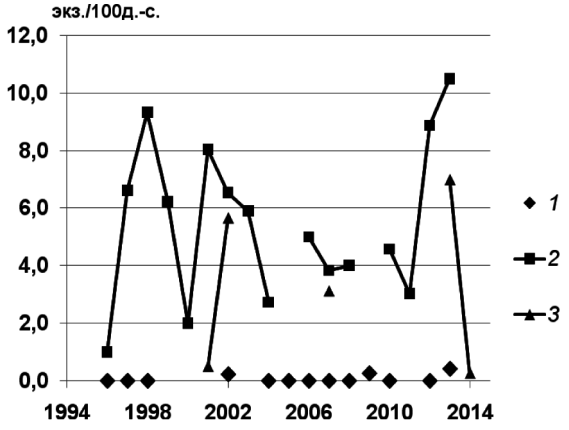


Рис. 3. Динамика численности обыкновенной бурозубки в среднем по всем биотопам: *1* – весна, *2* – конец лета, *3* – зима

Иными словами, численность и зимой сохраняется высокой, если была такой в конце лета. Весной ситуация иная: учеты обычно показы-

Численность обыкновенной бурозубки в разных типах биотопов в августе (экз./100 д.-с.)

Год		Луга	Свежая вырубка	Молодая вырубка	Зарастающая вырубка	Молодой лес	Лиственный лес	Смешанный лес	Хвойный лес	В среднем
	число д.-с.	3738	792	1078	935	2020	1819	2915	3920	
1996	400	0,5							1,5	1,0
1997	650	5,1							8,3	6,6
1998	900	1,3		15,3	15,3	16,0		4,7	3,3	9,3
1999	900	5,3		10,7	8,0	7,3		3,3	2,7	6,2
2000	900	0,0		2,7		4,7		0,0	0,0	2,0
2001	2325	2,4	19,4	12,0	2,3	20,7	3,0	4,6	10,8	8,0
2002	1545	2,4	23,5			8,6	5,2	8,0	1,0	6,5
2003	1915	3,9	2,9	18,6	11,3	6,3	7,8	1,4	2,8	5,9
2004	1392	0,0		0,0	15,0	9,7	0,0	0,0	0,0	2,7
2006	1700	4,6	9,0	2,0		6,0	8,7	4,3	3,6	5,0
2007	1800	1,8	2,0		12,0	9,3	4,4	4,7	3,4	3,8
2008	450	4,7		5,3					2,0	4,0
2010	350		4,0				7,3		3,0	4,6
2011	925	2,0	2,0		4,0		4,8	0,4	6,0	3,0
2012	665	2,2		2,0	30,0		16,0	9,5	6,2	8,9
2013	400	17,3			8,0		16,0	4,8	11,0	10,5
Всего	17217									
В среднем		3,0	11,4	7,9	10,3	9,9	6,2	3,9	4,0	

вают почти полное отсутствие бурозубок, причем во всех биотопах. На наш взгляд, майские учеты не дают адекватного представления о численности, но регистрируют лишь встречаемость бурозубок на поверхности. Как известно [6], основные кормовые объекты бурозубки – это в основном обитатели верхнего слоя почвы и подстилки. В весенний период при отсутствии наземных кормовых объектов бурозубки оказываются в большой мере герпетобионтами, проводя значительную часть времени суток в верхних слоях почвы и подстилке, они реже показываются на поверхности и попадаются в давилки, чем в другие сезоны. Летом же обилие кормовых объектов позволяет им кормиться на поверхности почвы, что делает учеты численности более корректными. Об этом свидетельствуют наши расчеты численности *перезимовавших* зверьков: оценки для мая во всех биотопах составили 0,20 (26423 д.-с.), а для августа в два раза больше – 0,44 экз./100 д.-с. (17217 д.-с.). Это заключение подтверждается и данными повторного отлова меченых зверьков: в июле показатели живоотлова зимовавших бурозубок в 1,5–2 раза выше, чем в июне [6; табл. 5.7]. Не впадая в противоречие, приходится признать, что оценки попадаемости зимовавших зверьков в августе лучше характеризуют их численность, чем весенние отловы. Вследствие названных причин анализ биотопического размещения будет строиться в основном по материалам отловов в августе.

Биотопическое размещение

Очевидно, что в разных биотопах условия жизни бурозубок могут существенно различаться. Там, где есть защитные, кормовые и прочие благоприятные условия, выживаемость и репродуктивный успех бурозубок будет выше. Напротив, сочетание неблагоприятных условий должно выражаться в более низкой численности бурозубок в этом местообитании. Если предпочтения бурозубок остаются постоянными, то их биотопическое размещение будет определяться качеством биотопов. Понятно также, что процессы сезонного расселения будут в определенной мере нивелировать межбиотопические различия. Наши материалы позволяют выполнить анализ динамики встречаемости бурозубок в разных биотопах.

Луга. Численность бурозубок на лугах в зависимости от фазы динамики варьирует от 0 до 5,3 (максимум – 17,3 экз./100 д.-с. в 2013 году) и в среднем составляет около 3.0 экз./100 д.-с. (см. таблицу). Направленное снижение или рост значений численности отсутствуют. Относительно других биотопов это невысокий уровень, связанный с рядом неблагоприятных факторов. С одной стороны, богатый травостой обеспечивает жизнь многим объектам питания бурозубки (дождевые черви, жесткокрылые, двукрылые, пауки, многоножки) [1], а также летом служит неплохим укрытием. Кроме того, зимой полегший травостой формирует под снегом полости, удобные для перемещения. С другой стороны, на лугу практически нет подстилки, следовательно, ее беспозвоночных обитателей, составляющих основу питания бурозубки в зимний период, к тому же весной влажные луга обычно затапливаются, что приводит к гибели всех их обитателей.

Свежие вырубки. Численность бурозубки обыкновенной в данном типе биотопа варьирует от 2,0 до 23,5, в среднем 11,4 экз./100 д.-с. (см. таблицу). В сравнении с другими биотопами это высокий уровень, однако наблюдается снижение численности по годам (с 19,4 экз./100 д.-с. в 2001 году до 2,0 экз./100 д.-с. в 2011 году). Микроклимат вырубок существенно отличается от лесного более резкими колебаниями в течение года температурного режима, влажности и освещенности. В условиях полной освещенности начинает интенсивно разрастаться травянистая растительность, минерализуется лесная подстилка [9]. Летом и осенью на свежих вырубках наблюдается высокая численность беспозвоночных – объектов питания бурозубки (листоеды, жужелицы, пауки, сенокосцы и др.). Такие биотопы зверьки в массе населяют осенью, однако в зимнее время отсутствие высокого травостоя приводит к плотному прилеганию снега к земле, что делает невозможным перемещение под ним бурозубок. Кроме того, зимой на таких открытых пространствах усиливается промерзание почвы [3], что неизбежно приводит к гибели землероек в зимний период.

Молодые вырубки. Августовская численность землероек в этом биотопе варьирует от 0 до 18,6, в среднем около 8 экз./100 д.-с. Относительно других биотопов это высокий уровень, но обнаружено направленное снижение численности вида от года к году (с 15,3 экз./100 д.-с. в 1998 году до 2,0 экз./100 д.-с. в 2012 году). Условия жизни зверьков на молодых вырубках совпадают с условиями на свежих вырубках: в летне-осенний период здесь селится большое число объектов питания бурозубки обыкновенной, а зимой неблагоприятные факторы (промерзание почвы, плотное прилегание снежного покрова), вероятно, приводят к гибели всех зверьков.

Зарастающие вырубки. Численность бурозубок в таком типе биотопа колеблется от 2,3 до 30,0 экз./100 д.-с.; в среднем – 10,3 экз./100 д.-с. Относительно других биотопов это высокий уровень и многолетняя динамика имела положительный тренд. В таком биотопе начинает формироваться подстилка за счет выхода мелколиственных пород деревьев из яруса трав [16]. В зимний период, по сравнению со свежими и молодыми вырубками, нет большого навала снега на поверхности почвы, что дает зверькам возможность перемещения, и часть попавших сюда животных может выжить.

Молодой лес. Численность бурозубок в этом биотопе в зависимости от фазы динамики варьирует от 4,7 до 20,7 экз./100 д.-с. со средним значением численности около 10 экз./100 д.-с. Это высокий уровень в сравнении с другими типами биотопов, но здесь за 20 лет относительная численность землероек снизилась почти вдвое – с 16,0 до 9,3 экз./100 д.-с. В летне-осенний период землеройки находят в этом биотопе благоприятные защитные и кормовые условия. Зимние отловы нами не проводились, однако можно предположить, что полегший травостой образует под снегом полости, удобные для перемещения, а формирующаяся с течением времени подстилка с ее обитателями может обеспечить бурозубкам зимнюю выживаемость.

Лиственный лес. Численность бурозубки обыкновенной в данном типе биотопа варьирует от 0 до 16,0, в среднем 6,2 экз./100 д.-с. В сравнении с другими типами биотопов это средний уровень и многолетняя динамика имела положительный тренд. В данном типе биотопа чаще встречаются такие объекты питания бурозубки обыкновенной, как личинки двукрылых, личинки и имаго жесткокрылых [2]. Густой и высокий травостой, присутствие насекомых и хорошо развитая подстилка позволяют землеройкам заселять этот биотоп в летне-осенний период. В зимнее время почва не промерзает так сильно, как на открытых пространствах, а густой травостой обеспечивает перемещение зверьков под снегом, вследствие этого встречаемость особей зимой в данном типе биотопа высокая.

Смешанные леса. В этом биотопе численность землероек в зависимости от фазы динамики варьирует от 0 до 9,5, в среднем около 4 экз./100 д.-с. Это низкий уровень, однако обнаружено увеличение значений численности по годам; за 20 лет оценки возросли вдвое – с 4,7 до 9,5 экз./100 д.-с. Из кормовых объектов бурозубки обыкновенной здесь встречаются хищные членистоногие: пауки, сенокосцы, жужелицы, муравьи [15]. В сравнении со свежими и зарастающими вырубками здесь нет такого разнообразия беспозвоночных, и осенью бурозубки неохотно заселяют данный биотоп, однако постоянное нахождение кормовых объектов и семян хвойных пород в подстилке может обеспечить зверькам зимнее выживание.

Хвойные леса. Численность бурозубок в этом биотопе в зависимости от фазы динамики варьирует от 0 до 11,0, в среднем 4,0 экз./100 д.-с. В сравнении с другими типами биотопов это низкий уровень, однако многолетняя динамика имела положительный тренд. Основное ядро населения кормовых объектов землероек состоит из жесткокрылых, двукрылых и перепончатокрылых, а также пауков и сенокосцев. Эти группы животных являются доминирующими не только в ельниках, но и в лесах других типов, например различных сосняках [15]. Наименьшая относительная численность беспозвоночных в сосняке зеленомошно-лишайниковом [14]. Как и смешанные леса, этот тип биотопов зверьки населяют неохотно, но в зимний период бурозубки обеспечены кормом из беспозвоночных и семян деревьев, что может гарантировать им зимнее выживание.

При анализе представленных материалов бросается в глаза неоднородность биотопического распределения как в пространственном, так и временном аспектах. В первую очередь хорошо заметна повышенная относительная численность бурозубок в конце лета на вырубках разного возраста; она превышает показатели для естественных местообитаний почти в 2 раза (4,0 против 9,7 экз./100 д.-с.) (см. таблицу, рис. 4).

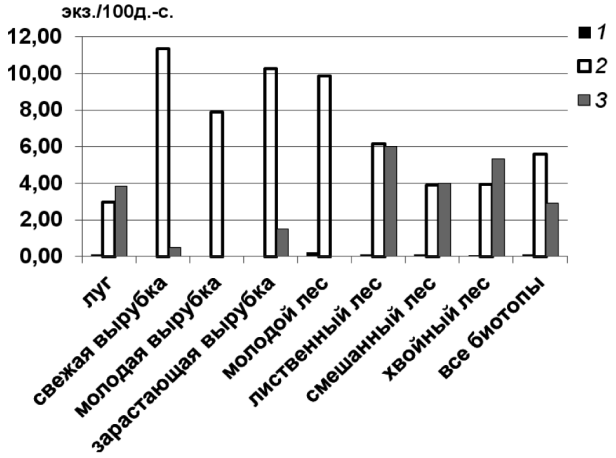


Рис. 4. Средняя многолетняя численность обыкновенной бурозубки в разных биотопах (*1* – учеты выполнены весной, *2* – в конце лета, *3* – зимой)

Однако в другие сезоны ситуация иная. В середине зимы в спелых лесах и на влажных лугах численность бурозубок снижается несущественно и почти равна позднелетней. Выживание зверьков связано здесь, по всей видимости, с хорошо развитой лесной подстилкой и толстой подушкой из трав на лугах в районе работ, которые давно не косились. В противоположность этому в молодых вторичных биотопах численность бурозубок зимой существенно ниже, чем в конце лета, видимо, потому, что деградация подстилки и отсутствие богатого сплошного травостоя не обеспечивают бурозубок достаточным количеством убежищ. Если в качестве показателей весенней численности зверьков в данном биотопе взять численность *зимовавших* особей в августе (см. выше), то оценки оказываются примерно одинаковыми: в лесных биотопах – 0,55, в антропогенных – 0,46 экз./100 д.-с. Таким образом, в трансформированных стациях падение численности в весенне-зимний период оказывается более существенным, чем в лесных биотопах.

Сопоставление данных по многолетней динамике населения бурозубок в двух группах био-

топов (восстанавливающиеся вырубки и леса с сомкнутым древостоем) выявило разнонаправленные тренды. Отрицательный тренд выявлен для вторичных стаций: за период наблюдений средняя численность упала с 6 до 2 экз./100 д.-с. (см. рис. 5). В большинстве спелых лесов, напротив, наблюдается рост численности с 2 до 6. Получается, что отмеченное стохастическое постоянство средней относительной численности бурозубки в районе работ обеспечивается уравновешиванием этих двух процессов.

На наш взгляд, это явление вплотную связано с изменением доли изучаемых местообитаний в связи с интенсификацией рубок в период исследований. Данные дистанционного зондирования показывают, что доля спелых смешанных и хвойных лесов (от общей площади суши) постоянно сокращалась: в 1960 году она составляла 85, в 1990 году – 53, в 2013 году – 42 %. Доля вырубок за последние 20 лет возросла с 47 до 58 % (см. рис. 1).

В лесных стациях происходит своего рода концентрирование зверьков. Обилие небольших по площади вырубок, граничащих с еще не вырубленным лесом, не дает его обитателям возможности выбора: лесные стации для бурозубок существенно лучше, чем свежие и молодые вырубки [5]. По этой причине процессы расселения из лесных стаций тормозятся – и численность растет. Свою роль играют лиственные насаждения от зарастающих вырубок до спелого леса. Достаточно благоприятные условия в летний период обеспечивают здесь высокий уровень численности бурозубки. Вследствие интенсивных рубок в начале лета площадь мелколесья постоянно возрастает, что в благоприятные годы приводит к всплеску численности местной популяции. Полученные нами конкретные оценки площадей разных биотопов и оценок относительной численности позволяют рассчитать соотношение абсолютных оценок численности на изученной территории. В августе 1998 года численность бурозубок в районе работ составила около 96 795 экз./га, в 2001 – 144 564, в 2003 – 90 000, в 2007 – 71 680, в 2012 году – 201 997 экз./га. Расчеты показывают, что если в период пика численности в августе 2003 года численность бурозубок в районе работ составила около 90 000 экз. (1700 га лиственных насаждений), то в 2012 году – 195 000 экз. (2118 га). Таким образом, численность населения бурозубок в районе работ в определенной степени зависит от соотношения местообитаний разного качества. Более точную оценку выявленной зависимости может дать специальная статистическая обработка данных, учитывающая закономерности многолетней динамики численности животных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Ориентируясь на результаты анализа наших материалов, ниже мы представляем свое видение сезонных изменений биотопического распределения бурозубок. Как было показано, оно не остается стабильным ни по сезонам, ни по годам (см. рис. 2, 4). При этом в августе численность обыкновенной бурозубки меньше в спелых лесах, чем в антропогенных местообитаниях (вырубках разного возраста), но выживаемость зимой и весной здесь выше (рис. 3). Кроме того, многолетняя динамика выражается в общем росте численности в лесных местообитаниях и снижении – в антропогенных (рис. 5А). Объяснение этого явления, на наш взгляд, должно основываться на учете сезонной динамики биотопического размещения бурозубок и все возрастающих размеров площадей рубок в районе исследований (см. рис. 1).

Сезонная динамика населения бурозубок проходит следующий ряд этапов. Зимой и весной существенная часть популяции бурозубок выживает преимущественно в лесных биотопах с хорошо развитой подстилкой, тогда как во вторичных стациях (вырубках разного возраста) по большей части не сохраняется. С начала пе-

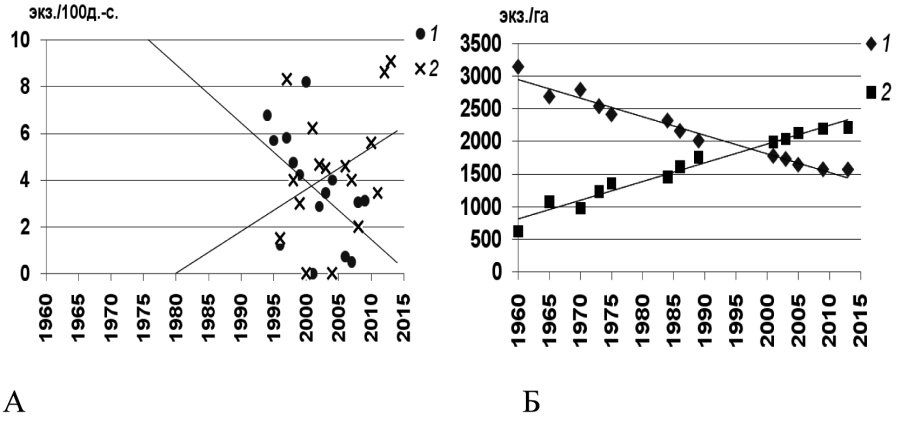


Рис. 5. Многолетние тренды изменения (А) численности обыкновенной бурозубки и (Б) размера естественных (1) и трансформированных (2) местообитаний

риода размножения часть зимовавших зверьков переселяется во вторичные стации. Благодаря неплохим укрытиям (травостой и кустарник) и обилию пищевых объектов к концу лета численность бурозубок во вторичных стациях существенно возрастает, в том числе благодаря миграции молодняка из первичных лесных фитоценозов; теперь большая часть популяции живет в антропогенных биотопах. В зимний период обычно наблюдается изменение в уровне численности зверьков в разных биотопах: в лесах они в массе выживают благодаря богатой подстилке, в более открытых биотопах также в достаточно большом количестве благодаря напочвенной подушке из трав. Однако в период снеготаяния (в том числе при оттепелях) бурозубкам легче выжить в лесу, чем на разновозрастных вырубках; это приводит популяцию к уже описанному состоянию: в лесу бурозубок относительно больше. Рассматривая эту динамику с учетом площадей названных биотопов, можно заключить, что чем меньше лесные территории (и больше занятые вырубками), тем общая численность популяции будет меньше. Такая динамика наблюдалась нами с 1996 по 2005–2007 годы при резком усилении лесозаготовительной деятельности в районе работ, когда общая численность популяции снизилась до 70 000 экз. (август 2007 года). Однако параллельно идущее лесовосстановление привело к тому, что в настоящее время на изученной территории существенно увеличились площади лиственных лесов, благоприятных для бурозубок, что позволило популяции увеличить численность примерно в два раза (202 000 экз. в 2012 году). Феномен увеличения амплитуды колебаний численности мелких млекопитающих в нарушенных местообитаниях [5] является следствием существенного различия скоростей воспроизводства и вымирания населения естественных и антропогенных биотопов.

ВЫВОДЫ

1. В период исследований наблюдается снижение максимальных значений численности в августе с 1996 по 2007 год (4 экз./100 д.-с.) и вновь повышение к 2013 году (10 экз./100 д.-с.).
2. В теплый период численность обыкновенной бурозубки обычно существенно выше на разновозрастных вырубках (8–11 экз./100 д.-с.), чем в лесных биотопах (4–6 экз./100 д.-с.).
3. Тренды многолетней динамики численности вида в разных типах биотопов зачастую противоположны: с увеличением площади вторичных местообитаний относительная численность бурозубок в них снижается (с 7 до 2 экз./100 д.-с.), тогда как в лесных повышается (с 3 до 6 экз./100 д.-с.).
4. Дешифрирование средствами ГИС карты и 11 космоснимков, полученных в разные годы, позволило реконструировать динамику вырубания хвойных лесов за последние 60 лет: площадь хвойных и смешанных лесов сократилась в 2 раза.
5. Общая численность популяции бурозубки на локальной территории определяется соотношением площадей естественных (спелые леса) и антропогенных (разновозрастные вырубки) стаций, которые отличаются по условиям обитания и в которых векторы процессов размножения и выживания обыкновенной бурозубки разнонаправленны.

Авторы выражают благодарность С. В. Бугмырину за помощь в сборе материала и содействие в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулова Л. И. Животное население (мезофауна) почв среднетаежных луговых систем Европейского Северо-востока России: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. Сыктывкар, 2005. 22 с.
2. Безкоровайная И. Н., Яшихин Г. И. Влияние гидротермических условий почвы на комплексы беспозвоночных в хвойных и лиственных культурах // Экология. 2003. № 1. С. 56–62.
3. Волков А. Д. Типы леса Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 179 с.
4. Гусева Т. Л. Динамика населения обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*, Linnaeus 1758) на заболоченном лугу // Принципы экологии. 2012. № 3. С. 67–73.
5. Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
6. Ивантер Э. В., Макаров А. М. Территориальная экология землероек-бурозубок (Insectivora, Sorex). Петрозаводск, 2001. 271 с.
7. Коросов А. В. Организация летней практики по зоологии позвоночных животных. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1994. 68 с.
8. Крышень А. М. Растительные сообщества вырубок: структура, динамика и классификация (на примере Карелии): Автореф. дисс. … канд. биол. наук. Петрозаводск, 2005. 42 с.
9. Крышень А. М. Растительные сообщества вырубок Карелии. М.: Наука, 2006. 262 с.
10. Курхинен Ю. П., Данилов П. И., Ивантер Э. В. Млекопитающие Восточной Фенноскандии в условиях антропогенной трансформации таежных экосистем. М.: Наука, 2006. 208 с.
11. Никифоров Л. П. Опыт абсолютного учета численности мелких млекопитающих в лесу // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М., 1963. С. 237–243.
12. Новиков Г. А. Полевые исследования экологии наземных позвоночных животных. М., 1949. 602 с.
13. Соколов Г. А., Швецова В. Я., Балагура Н. И. Опыт учета абсолютной численности мелких млекопитающих в лесах Западного Саяна // Экология популяций лесных животных. Новосибирск, 1974. С. 77–86.
14. Узенбаев С. Д., Предтеченская О. О. Структура сообществ членистоногих в герпетобии лесных биоценозов заповедника «Кивач» // Энтомологические исследования в заповеднике «Кивач». Петрозаводск, 1991. С. 130–137.

15. Узенбаев С. Д. Структура населения и сезонная динамика численности пауков герпетобия ельника зеленомошного // Фауна и экология пауков, скорпионов и ложноскорпионов: Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 226. Л., 1990. С. 4–11.
16. Уланова Н. Г. Механизмы сукцессии растительности сплошных вырубок в ельниках южной тайги // Актуальные проблемы геоботаники. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. С. 198–209
17. QGIS. Свободная географическая информационная система с открытым кодом. Available at: http://qgis.org/ru/site/

Guseva T. L., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Korosov A. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Bespyatova L. A., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)
Anikanova V. S., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

LONG-TERM DYNAMICS OF BIOTOPICAL DISTRIBUTION OF A COMMON SHREW (SOREX ARANEUS, LINNAEUS 1758) IN KARELIAN MOSAIC LANDSCAPE

The dynamics of the number of common shrew and its biotopical distribution in the middle-taiga ecosystems of Southern Karelia (Kondopozhsky region, village of Gomselga) has been studied from 1994 to 2014. Altogether, 60559 traps-days were worked out, 1532 of common shrew species were trapped. As a result of maps' interpretation and space photographs based on the type of vegetation (middle and high resolution), electronic GIS-maps of 10 types of habitat for 14 time slices (1960, 1970, 1973, 1975, 1984, 1986, 1989, 2001, 2003, 2005, 2009, 2013) were obtained. The dynamics of vegetation cover is expressed in the increase of the area of anthropogenic habitats (cutting of different ages) and significant decrease in the area of natural forest habitats. Trapping indicates that during warm period of the year the number of common shrew is usually higher in anthropogenic habitats than in forest ones; however, in winter and spring the survival of animals, in contrast, is significantly higher in mature forests. Long-term dynamics of shrew population consists in increasing the overall number of forest habitats and reducing that of anthropogenic ones. In general, the size of shrew population in a local area is defined by the ratio between the area of natural and anthropogenic habitats. They differ in the conditions of habitation and the vectors of reproduction and survival of common shrew are directed oppositely.

Key words: common shrew, biotopical distribution, dynamics of number, GIS

REFERENCES

1. Akulova L. I. *Zhivotnoe naselenie (mezofauna) pochv srednetaezhnykh lugovykh sistem Evropeyskogo Severo-vostoka Rossii*: *Diss. ... kand. biol. nauk* [Animal population (mesofauna) of the Middle Taiga meadow soils' systems of the European North-East of Russia. Cand. biological sci. diss.]. Syktyvkar, 2005. 22 p.
2. Bezkorovaynaya I. N., Yashikhin G. I. Impact of soil's hydrothermal conditions on the invertebrates' communities in the pine and leaf plants [Vliyanie gidrotermicheskikh usloviy pochvy na kompleksy bespozvonochnykh v khvoynykh i listvennykh kul'turakh]. *Ekologiya* [Ecology]. 2003. № 1. P. 56–62.
3. Volkov A. D. *Tipy lesa Karelii* [Types of Karelian forests]. Petrozavodsk, 2008. 179 p.
4. Guseva T. L. The population dynamics of the common shrew (Sorex araneus, Linnaeus 1758) in a swampy meadow [Dinamika naseleniya obyknovennoy burozubki (*Sorex araneus*, Linnaeus 1758) na zabolochennom lugu]. *Printsipy ekologii* [Principles of the Ecology]. 2012. № 3. P. 67–73.
5. Ivanter E. V. *Populyatsionnaya ekologiya melkikh mlekopitayushchikh taezhnogo Severo-Zapada SSSR* [Population ecology of small mammals of the North-West Taiga of the USSR]. St. Petersburg, 1975. 246 p.
6. Ivanter E. V., Makarov A. M. *Territorial'naya ekologiya zemleroek-burozubok (Insectivora, Sorex)* [Territorial ecology of the shrews (*Insectivora, Sorex*)]. Petrozavodsk, 2001. 271 p.
7. Korosov A. V. *Organizatsiya letney praktiki po zoologii pozvonochnykh zhivotnykh* [Organization of summer a practice on Vertebrate Zoology]. Petrozavodsk, 1994. 68 p.
8. Kryshen' A. M. *Rastitel'nye soobshchestva vyrubok: struktura, dinamika i klassifikatsiya (na primere Karelii): Avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk* [Plant communities of the fellings: structure, dynamics and classification (in the case of Karelia) Dr. biol. sci. diss.]. Petrozavodsk, 2005. 42 p.
9. Kryshen' A. M. *Rastitel'nye soobshchestva vyrubok Karelii* [Plant communities of Karelian fellings]. Moscow, 2006. 262 p.
10. Kurkhinen Yu. P., Danilov P. I., Ivanter E. V. *Mlekopitayushchie Vostochnoy Fennoskandii v usloviyakh antropogennoy transformatsii taezhnykh ekosistem* [Mammals of Eastern Fennoscandia amidst the anthropogenic transformation of the Taiga ecosystems]. Moscow, 2006. 208 p.
11. Nikiforov L. P. True census experience of the small mammals in the forest [Opyt absolyutnogo ucheta chislennosti melkikh mlekopitayushchikh v lesu]. *Organizatsiya i metody ucheta ptits i vrednykh gryzunov* [Organization and methods of accounting of birds and harmful rodents]. Moscow, 1963. P. 237–243.
12. Novikov G. A. *Polevye issledovaniya ekologii nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh* [Ecology field studies of the terrestrial vertebrates]. Moscow, 1949. 602 p.
13. Sokolov G. A., Shvetsova V. Ya., Balagura N. I. True census experience of the small mammals in the forests of the Western Sayan [Opyt ucheta absolyutnoy chislennosti melkikh mlekopitayushchikh v lesakh Zapadnogo Sayana]. *Ekologiya populyatsiy lesnykh zhivotnykh* [Population ecology of the forest animals]. Novosibirsk, 1974. P. 77–86.
14. Uzenbaev S. D., Predtechenskaya O. O. The structure of arthropods' communities in the herpeton of the forest biocenosis in the "Kivach" park [Struktura soobshchestv chlenistonogikh v gerpetobii lesnykh biotsenozov zapovednika "Kivach"]. *Entomologicheskie issledovaniya v zapovednike "Kivach"* [Entomological researches in the "Kivach" reserve]. 1991. P. 130–137.
15. Uzenbaev S. D. Structure and seasonal dynamics of spiders' populationin the herpeton of the green moss spruce forest [Struktura naseleniya i sezonnaya dinamika chislennosti paukov gerpetobiya el'nika zelenomoshnogo]. *Fauna i ekologiya paukov, skorpionov i lozhnoskorpionov: Trudy Zool. in-ta AN SSSR* [Fauna and ecology of spiders, scorpions and pseudoskorpions: Works of Zoological Institute AN USSR]. Vol. 226. Leningrad, 1990. P. 4–11.
16. Ulanova N. G. Mechanisms of plant succession in the clean fellings in the Southern Taiga spruce forests [Mekhanizmy suktsessii rastitel'nosti sploshnykh vyrubok v el'nikakh yuzhnoy taygi]. *Aktual'nye problemy geobotaniki* [Topical issues of Phytosociology]. 2007. P. 198–209.
17. QGIS. A Free and Open Source Geographic Information System. Available at: http://qgis.org/ru/site/

Поступила в редакцию 31.07.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Биологические науки** **2014**

УДК 582.099

КИРА ВЛАДИМИРОВНА МОРОЗОВА
кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
mkv25@bk.ru

ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА ГУЛЯЕВА
магистр кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
gln7408@gmail.com

ЕВГЕНИЯ ФЕДОРОВНА МАРКОВСКАЯ
доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
volev10@mail.ru

АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИСТЬЕВ АСТРЫ СОЛОНЧАКОВОЙ (*ASTER TRIPOLIUM* L.) НА ПОБЕРЕЖЬЕ БЕЛОГО МОРЯ*

Представлена анатомо-морфологическая характеристика листьев астры солончаковой (*Aster tripolium* L.) из семейства Астровые (*Asteraceae*). Этот вид широко представлен в различных растительных сообществах на приливно-отливной зоне морских водоемов. Исследование проводилось в течение двух полевых сезонов (2012–2013 годы) на Поморском берегу Белого моря в условно экологически чистом районе (в поселке Растьнаволок, в 12 км на северо-запад от г. Беломорска). В приливно-отливной зоне вдоль трансекты были заложены 3 пробные площади от берега до уреза воды. Отобранные участки характеризовались разным уровнем водного столба (от 10–20 до 50–60 см) над растением во время прилива и различной продолжительностью времени (2–3 часа) заливания. Для оценки пластичности был использован коэффициент вариации (CV) отдельных показателей мезоструктуры листа, который показал, что группа показателей (CV ниже 20 %) – толщина листьев, размеры клеток ассимилирующих тканей (эпидермы, палисадного и губчатого мезофилла), количество хлоропластов – слабо изменяются в пределах исследованного спектра экотопов и относятся к стабильным характеристикам астры как вторично-водного растения. К наиболее варьирующим показателям мезоструктуры (CV выше 20 %) относятся площадь листьев, площадь устьиц и устьичных щелей, объем клеток, которые и позволяют виду иметь высокую функциональную пластичность в широком спектре экотопов приливно-отливной зоны исследованных приморских экосистем Белого моря.

Ключевые слова: *Aster tripolium*, приливно-отливная зона, анатомическая структура листа, пластичность, коэффициент вариации, Белое море

На морских побережьях постоянно складываются особые экологические условия, обусловленные естественной нестабильностью – засоленностью, мозаичностью и подвижностью субстрата, влиянием ветра определенной направленности, специфическим температурным режимом. В таких условиях произрастания у растений сформировались различные адаптивные механизмы, обеспечивающие не только протекание жизненных процессов, но и приспособленность к различным факторам, прежде всего к засолению [2], [9]. Важным компонентом приспособления растений является структурная адаптация мезофилла листа [8].

Астра солончаковая (*Aster tripolium* L.) относится к семейству Астровые (*Asteraceae*), евроазиатский бореальный вид, являющийся доминантом и субдоминантом различных приморских растительных сообществ на приливно-отливной зоне морских водоемов. Это распространенный вид галофитной растительности как на территории России, так и других стран. Большинство исследований этого вида посвящено его распространению и условиям произрастания в растительных сообществах [7], [14]. Исследования анатомо-морфологических особенностей астры солончаковой проводятся на побережьях водоемов в странах Европы [11], [12], [15], [16]. В Карелии проведены многочисленные флористические исследования, по результатам которых выявлены места произрастания астры солончаковой на островах и на побережье Белого моря [5]. Изучение анатомо-морфологических особенностей этого вида на литорали и супралиторали морского побережья не проводилось.

Цель исследования – изучить анатомо-морфологические особенности листьев астры солончаковой, произрастающей в разных условиях на приливно-отливной зоне Поморского побережья Белого моря.

© Морозова К. В., Гуляева Е. Н., Марковская Е. Ф., 2014

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось в течение двух полевых сезонов (2012–2013 годы) на Поморском берегу Белого моря в условно экологически чистом районе (в поселке Растьнаволок, в 12 км на северо-запад от г. Беломорска). Объект исследования – листья *Aster tripolium* L. (семейство *Asteraceae*).

На берегу моря вблизи поселка была заложена трансекта длиной 180 м и шириной 10 м от коренного берега, сложенного каменными валунами, высотой до 2,5 м до линии уреза малой воды в отлив. На трансекте были выбраны три пробные площади (ПП), отличающиеся продолжительностью времени заливания в полный прилив. ПП 1 (площадью 3×6 м) заложена на правом берегу ручья, стекающего с коренного валунного берега на территорию осушки. Субстрат илистый. Общее проективное покрытие (ОПП) видов составляет 40 %, вместе с *Aster tripolium* содоминируют *Plantago maritima* L., *Triglochin maritima* L., *Carex glareosa* Wahlenb., *C. mackenziei* V. Krecz., *Agrostis straminea* C. Hartm., *Glaux maritima* L. Высота растений астры солончаковой 30–40 см, время ее нахождения под водой в максимальный прилив – 1,30 мин. Высота водного столба над субстратом до 50 см. ПП 2 (4×5 м) расположена в 60 м от линии уреза малой воды в отлив, ОПП видов – 50 %, видовой состав растений на пробной площади аналогичен ПП 1. Виды произрастают на илисто-песчаном субстрате. Высота растений астры солончаковой 30–35 см, время ее нахождения под водой до 2 часов в максимальный прилив, высота водного столба от субстрата до 80 см. ПП 3 (4×5 м) расположена в максимальный отлив у линии уреза воды, ОПП видов 20 %, куртины *Aster tripolium*, *Plantago maritima* и *Triglochin maritimum* произрастают на илисто-песчаном субстрате между скальных валунов, высотой до 120 см в отлив. Высота растений 25–30 см, высота водного столба от субстрата в максимальный прилив составляет 80–100 см. Время нахождения под водой в полный прилив – 3 часа. В литературе отмечается, что на глубине 0,5 м снижение освещенности – около 20 % от полной освещенности над водой [6].

На каждой пробной площади отбиралось по 10 здоровых, хорошо развитых и хорошо освещенных растений, с каждого растения взято по 5 листьев со средней части стебля для фиксации в 70 % этаноле. Площадь определяли у 50 листьев разных растений, а измерения анатомических структур (устьиц, клеток эпидермы и мезофилла) – на 10 листьях с каждого участка [13].

Анатомическую структуру листьев изучали на временных препаратах при помощи светового микроскопа с увеличением 100х. Измерения показателей (толщина листьев, размеры устьиц и устьичных щелей, размеры клеток верхней и нижней эпидермы, палисадного и губчатого мезофилла) проводили с помощью окуляр-микрометра в 100-кратной повторности для листьев с каждой пробной площади. Количество хлоропластов подсчитывали в суспензии после предварительной мацерации клеток [8] в 100 клетках палисадного и губчатого мезофилла.

Площадь устьица и устьичной щели вычисляли по формуле площади сферы [8]:

$$Sус = \pi*D*L/4, \quad (1)$$

где D – длина устьица (устьичной щели), L – ширина устьица (устьичной щели).

Вычисление объема клеток проводили по формуле [8]:

$$Vкл = \pi/4*L^2*D*K, \quad (2)$$

где L – ширина клетки, D – длина клетки, K = 0,69…1 – коэффициент Цельникера.

При обработке данных использовали дисперсионный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что наибольшая площадь (1976,0 ± 892,3 мм^2) листьев у астры солончаковой с высоким коэффициентом варьирования (51 %) выявлена у растений, произрастающих на ПП 1 около берега, где находились и наиболее крупные растения данного вида. На ПП 2 и ПП 3 площадь листьев уменьшается в 4 раза и более (таблица).

Толщина листьев сходная у растений ПП 1 и ПП 2 (720,1 ± 126,3 и 737,5 ± 87,4 мкм соответственно) и увеличена у растений ПП 3, произрастающих у уреза воды, до 943,4 ± 112,7 мкм. CV для площади листьев вдоль трансекты варьирует от 33 до 51 %, что сдвинуто в область более высоких значений по сравнению с диапазоном (17–36 %), установленным для разных видов наземных растений, произрастающих в широком спектре экотопов [13]. CV по толщине листа варьирует в более узком диапазоне (12–18 %). Таким образом, наблюдается обратная зависимость толщины листьев от площади. Толщина листа тесно связана с адаптацией растений, что особенно важно для растений, произрастающих у уреза воды, где наиболее сильное воздействие оказывают приливно-отливные колебания.

Анализ размеров клеток показал, что их длина и ширина в среднем на 20 % больше в верхней эпидерме по сравнению с нижней. Для растений на трех пробных площадях различия в размерах клеток для той и другой эпидермы не выявлены.

Количество устьиц в эпидерме как на верхней, так и на нижней стороне листа увеличивается вдоль трансекты от берега (47,8 ± 17,1 и 36,9 ± 10,8 шт. соответственно) до уреза воды (см. табл.), где достигает максимальных значений (90,7 ± 22,2 и 87,3 ± 24,4 шт.). Значения CV для этого показателя сходные и варьируют в диапазоне 36–25 %. Факт увеличения количества устьиц и уменьшения их размеров у растений на ПП 3 может быть связан с процессом склерофилизации растений, которые испытывают более сильное механическое воздействие воды. Однако для подтверждения этой гипотезы требуются допол-

Анатомо-морфологическая характеристика листьев астры солончаковой на Поморском берегу Белого моря (поселок Растьнаволок)

Показатели		Пробная площадь 1, около берега				Пробная площадь 2, средняя часть трансекты				Пробная площадь 3, у уреза воды			
		min	max	M ± m	CV, %	min	max	M ± m	CV, %	min	max	M ± m	CV, %
Площадь листьев (мм²)		945	4876	1976,0 ± 892,3*	51	196	891	476,6 ± 187,5*	39	175	686	461,0 ± 151,4*	33
Толщина листа (мкм)		500	950	720,1 ± 126,3*	18	550	900	737,5 ± 87,4*	12	740	1150	943,4 ± 112,7*	12
Верхняя эпидерма (мкм)	Длина клеток	40	60	51,7 ± 6,0	11	40	60	52,2 ± 5,9	11	40	70	55,1 ± 6,8	13
	Ширина клеток	30	50	38,9 ± 6,7	17	30	50	40,2 ± 6,3	16	30	50	41,8 ± 5,6	14
Нижняя эпидерма (мкм)	Длина клеток	20	50	38,6 ± 7,3	19	30	50	39,5 ± 6,7	17	30	50	40,1 ± 7,4	18
	Ширина клеток	20	40	30,4 ± 4,6	16	20	40	30,6 ± 3,4	11	20	40	30,9 ± 4,5	15
Количество устьиц в 1 мм² (шт.)	Верхняя эпидерма	24	85	47,8 ± 17,1*	36	28	102	64,4 ± 20,3*	31	60	146	90,7 ± 22,2*	25
	Нижняя эпидерма	21	64	36,9 ± 10,8*	29	28	92	58,5 ± 18,5*	32	41	148	87,3 ± 24,4*	28
Площадь устьиц (мкм²)	Верхняя эпидерма	200,9	1652,2	888,8 ± 271,8*	31	200,9	1297,8	702,7 ± 285,4*	40	508,6	1248,9	857,6 ± 188,9*	22
	Нижняя эпидерма	500,4	2505,3	1130,7 ± 421,9*	37	686,8	1181,4	936,9 ± 147,3*	12	604,4	1277,9	912,1 ± 161,3*	18
Площадь устьичных щелей (мкм²)	Верхняя эпидерма	21,0	53,4	33,9 ± 8,4	25	14,1	62,5	37,2 ± 12,2	33	16,5	78,5	35,7 ± 12,0	33
	Нижняя эпидерма	17,2	62,8	37,8 ± 11,2	29	17,6	74,2	34,6 ± 11,9	35	17,6	56,5	32,9 ± 9,8	30
Длина клеток мезофилла (мкм)	Палисадный	36	80	56,5 ± 9,8	18	32	87	60,9 ± 13,6	22	36	72	59,2 ± 10,0	17
	Губчатый	20	36	28,8 ± 5,0	17	20	38	31,3 ± 5,3	17	20	36	27,7 ± 4,9	18
Ширина клеток мезофилла (мкм)	Палисадный	12	40	23,8 ± 5,8	25	12	36	22,1 ± 4,5	20	16	32	22,7 ± 3,4	15
	Губчатый	20	36	28,3 ± 3,9	14	20	36	29,8 ± 4,5	15	20	36	27,4 ± 4,1	15
Количество хлоропластов в клетках мезофилла (шт.)	Палисадный	40	65	52,3 ± 5,6*	11	45	85	58,2 ± 6,6*	11	50	69	61,9 ± 6,5*	10
	Губчатый	25	64	45,2 ± 6,3*	14	40	55	45,9 ± 3,7	7	41	57	47,9 ± 4,0*	8
Объем клеток (тыс. мкм³)		4,04	99,8	23,6 ± 15,1	64	6,2	80,8	23,7 ± 10,9	46	6,2	57,5	20,8 ± 8,7	42

Примечание. * – отличия показателей достоверны при p = 0,05.

нительные исследования. Площадь устьичных щелей у астры солончаковой в разных условиях обитания не отличается. Это может быть связано со сходными условиями, в частности с одинаковой концентрацией солей вдоль трансекты, которая и определяет ширину устьичной щели. В литературе имеются данные, что у этого вида повышение концентрации солей в вакуолях приводит к частичному закрытию устьиц [11]. Приливно-отливная полоса исследуемой акватории характеризуется низкой соленостью (20–21 ‰). Значения общей площади устьиц на единицу площади листа оказались выше на нижней стороне листа. Наибольшие различия (около 30 %) этого показателя между верхней и нижней эпидермой определены на ПП 1 и ПП 2 (CV 31–40 %), а на ПП 3 у уреза воды различия по площади устьиц нивелируются и CV варьирует в более узком диапазоне от 18 до 22 %. Увеличение площади устьиц на нижней эпидерме является особенностью всех наземных растений, а для астры солончаковой, которая является вторично-водным растением, это может свидетельствовать об ее чувствительности к условиям отлива, когда растение может испытывать недостаток влажности воздуха. Период во время отлива наиболее короткий у растений, произрастающих у уреза воды, с чем может быть связано отсутствие различий по площади устьиц.

Длина клеток палисадного мезофилла в 2 раза превышает их ширину (56,5 ± 9,8 и 23,8 ± 5,8 мкм соответственно), коэффициент варьирования изменяется от 15 до 25 %. Длина и ширина клеток губчатого мезофилла были сходными (около 28 мкм), CV составляет 14–18 %.

По данным исследования установлено, что различные условия произрастания этого вида вдоль трансекты не оказали существенного вли-

яния на размеры клеток, что можно рассматривать как видовой признак и способность поддержания определенной анатомической структуры листа в широком спектре экотопов. При сравнении этих данных с площадью листа определено, что ее увеличение на ПП 1, возможно, связано с большим числом клеток, а не с их размером. Это путь адаптации астры солончаковой к условиям освещения: продолжительность ее пребывания во время отлива при максимальной освещенности больше у растений на ПП 1 около берега и сокращается на 2–3 часа при продвижении до уреза воды. Во время прилива растения астры на всех участках находятся полностью под водой в условиях более низкой освещенности, что приводит к образованию клеток сходных размеров. Следует отметить, что у этого вида в таких контрастных световых условиях сохраняются все составляющие анатомической структуры листа: палисадного и губчатого мезофилла.

Количество хлоропластов в клетках палисадного мезофилла незначительно увеличено вдоль трансекты от берега (52,3 ± 5,6 шт.) до уреза воды (61,9 ± 6,5 шт.), варьирование низкое (10–11 %). В клетках губчатого мезофилла различия по этому показателю не выявлены, значения CV – 7–14%. Следует отметить, что в клетках палисадного мезофилла хлоропластов больше на 15–20 %, чем в клетках губчатого мезофилла. Эти различия небольшие по сравнению с наземными растениями, что свидетельствует о близкой фотосинтетической активности двух типов мезофилла. Это особенность астры как вторично-водного растения, произрастающего в условиях нестабильного светового режима: высокого во время отлива и низкого во время прилива. Свет, проникающий вглубь мезофилла до губчатого мезофилла, имеет сильно измененный спектральный состав, и хлоропласты астры, по-видимому, хорошо адаптированы к этим изменениям. Близкое содержание хлоропластов свидетельствует о существенном вкладе как палисадной, так и губчатой паренхимы в общую продуктивность фотосинтеза.

Таким образом, выявлено варьирование показателей мезоструктуры листьев астры солончаковой (см. табл.). Наиболее вариабельным оказался объем клеток (42–64 %), что согласуется с данными Е. В. Бурковской [1] для видов, произрастающих на супралиторали Японского моря, что связано с различной направленностью приспособительных реакций (галосуккулентности либо галоксероморфности) у разных видов с однотипным строением мезофилла.

По минимальным и средним значениям объема клеток в листьях у растений, которые произрастают у уреза воды, и количества хлоропластов (см. табл.) астра солончаковая близка к видам аридной зоны Средней Азии [3], [10]. Это может свидетельствовать о сходстве адаптивных стратегий прибрежно-морских и солончаковых растений.

Для оценки пластичности был использован коэффициент вариации отдельных показателей мезоструктуры листа [13], который показал, что группа показателей (CV ниже 20 %) – толщина листа, размеры клеток ассимилирующих тканей (эпидермы, палисадного и губчатого мезофилла), количество хлоропластов – слабо изменяется в пределах исследованного спектра экотопов и относится к стабильным характеристикам астры как вторично-водного растения. К наиболее варьирующим показателям мезоструктуры (CV выше 20 %) в пределах условий приливно-отливной зоны относятся площадь листьев, различные показатели устьичного аппарата растения, объем клеток, которые и позволяют виду иметь высокую функциональную пластичность в широком спектре экотопов приливно-отливной зоны исследованных экосистем Белого моря.

Авторы выражают глубокую благодарность за помощь в написании статьи старшему научному сотруднику Института биологии КарНЦ РАН к. б. н. Т. С. Николаевской.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 98-04-48882-а и Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурковская Е. В. Мезоструктура листа сосудистых растений супралиторали Японского моря // Вестник КрасГАУ. 2008. № 2. С. 107–111.
2. Бурковская Е. В., Бурундукова О. Л., Пробатова Н. С. Структурно-функциональные адаптации ассимиляционного аппарата сосудистых растений морских побережий на юге российского Дальнего Востока // Ритмы и катастрофы в растительном покрове Дальнего Востока: Материалы междунар. науч. конф. Владивосток: БСИ ДВО ЗАН, 2004. С. 232–238.
3. Вахрушева Д. В. Мезоструктура фотосинтетического аппарата С3-растений аридной зоны Средней Азии: Автореф. дисс. … канд. биол. наук. Л., 1989. 21 с.
4. Воронкова Н. М., Бурковская Е. В., Безделева Т. А., Бурундукова О. Л. Морфологические и биологические особенности растений в связи с адаптацией к условиям морских побережий // Экология. 2008. № 1. С. 3–9.
5. Кравченко А. В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 403 с.
6. Макаров М. В., Рыжик И. В., Воскобойников Г. М. Влияние глубины произрастания на морфофизиологические показатели *Fucus vesiculosus* L. Баренцева моря // Альгология. 2012. Т. 22. № 4. С. 345–360.
7. Марковская Е. Ф., Сергиенко Л. А., Шкляревич Г. А., Сонина А. В., Стародубцева А. А., Смолькова О. В. Природный комплекс побережий Белого моря: Учеб. пособие. Петрозаводск, 2010. 85 с.
8. Мокроносов А. Т., Борзенкова Р. А. Методика количественной оценки структуры функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1978. Т. 61. Вып. 3. С. 119–133.
9. Нагалевский В. Я. Галофиты Северного Кавказа. Краснодар: Изд-во Кубанского гос. ун-та, 2001. 246 с.
10. Пьянков В. И. Роль фотосинтетической функции в адаптации растений к условиям среды: Автореф. дисс. … докт. биол. наук. М., 1993. 103 с.

11. Bercu R., Făgăraş M., Broască L. Anatomical features of *Aster tripolium* L. (*Asteraceae*) to saline environments // Annals of RSCB. 2012. Vol. XVII. № 1. P. 271–277.
12. Brickell C. Encyclopedia of Gardening (RHS) / Edited by Dorling Kindersley. 2007. 736 p.
13. Cornelissen J. H. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S. et al. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian Journ. of Botany. 2003. Vol. 51. P. 335–380.
14. Deil U. Halothytic vegetation along the Arabian coast azonal or linked to climatic zones? // Phytocenologia. 2000. Vol. 30. № 3/4. P. 591–611.
15. Evert R. F. Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development / Edited by John Wiley and Sons. 2006. 601 p.
16. Knežević A., Stojanović S., Nikolić L., Dźigurski D., Ljevnaić B. Ecological analysis of the flora of saline sites in the northern part of Banat region in Vojvodina Province (Serbia) // Thaiszia. J. Bot. Košice. 2008. № 18. P. 75–92.

Morozova K. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Gulyaeva E. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Markovskaya E. F., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ANATOMIC AND MORPHOLOGICAL DESCRIPTION OF THE SEA ASTER LEAVES (*ASTER TRIPOLIUM* L.) ON THE WHITE SEA COAST

The anatomic and morphological description of the sea aster leaves (*Aster tripolium* L.) of the Asteraceae family is presented in the article. This species is widespread in various plant communities in the intertidal sea zone. The research was conducted within two field seasons (2012–2013) on the Karelian coast of the White Sea in the area that was nominally ecologically clean (in the village of Rastnavolok, 12 km north-west of Belomorsk). In the intertidal zone, along the transect, three test areas were formed from the coast to the water's edge. The selected areas were characterized by different levels of water column (from 10–20 cm to 50–60 cm) above the plant during flow and flood of various duration (2–3 hours). The coefficient of variation of separate indexes of leaf mesostructure was used to assess plasticity. It indicated that the group of indexes (CV less than 20 percent) – leaf thickness, cell sizes of assimilating tissues (epidermis, palisade and spongy mesophyll), chloroplast quantity – weakly changed within the limits of the studied spectrum of ecotopes and related to the stable characteristics of aster as a secondary water plant. Leaf area, area of stomata and stomatal pores, cell volume are the most varying indexes of mesostructure (CV higher than 20 percent) that enable the species to have high functional plasticity in the wide spectrum of ecotopes of the intertidal zone of the studied coastal ecosystems of the White Sea.

Key words: *Aster tripolium*, intertidal zone, leaf's anatomic structure, plasticity, coefficient of variation, White Sea

REFERENCES

1. Burkovskaya E. V. Mesostructure of a vascular plants' leaf inof the spray zone of the Sea of Japan [Mezostruktura lista sosudistykh rasteniy supralitorali Yaponskogo moray]. *Vestnik KrasGAU* [KrasSAU Bulletin]. 2008. № 2. P. 107–111.
2. Burkovskaya E. V., Burundukova O. L., Probatova N. S. Structural and functional adaptations of assimilation apparatus of vascular plants of the sea coasts in the south of the Russian Far East [Strukturno-funktsional'nye adaptatsii assimilyatsionnogo apparata sosudistykh rasteniy morskikh poberezhiy na yuge rossiyskogo Dal'nego Vostoka]. *Ritmy i katastrofy v rastitel'nom pokrove Dal'nego Vostoka* [Rhythms and catastrophes in the plant cover of the Far East]. Vladivostok, BSI DVO ZAN Publ., 2004. P. 232–238.
3. Vakhrusheva D. V. Mesostructure of photosynthetic apparatus of C3-plants of the arid zone of the Central Asia [Mezostruktura fotosinteticheskogo apparata C3-rasteniy aridnoy zony Sredney Azii: Thesis abstract. … candidate of biological sciences]. Leningrad, 1989. 21 p.
4. Voronkova N. M., Burkovskaya E. V., Bezdeleva T. A., Burundukova O. L. Morphological and biological features of plants in relation to adaptation to conditions of sea coasts [Morfologicheskie i biologicheskie osobennosti rasteniy v svyazi s adaptatsiey k usloviyam morskikh poberezhiy]. *Ekologiya* [Ecology]. 2008. № 1. P. 3–9.
5. Kravchenko A. V. *Konspekt flory Karelii* [Summary of Karelian flora]. Petrozavodsk, KarRC of RAS Publ., 2007. 403 p.
6. Makarov M. V., Ryzhik I. V., Voskoboynikov G. M. Effect of depth growth on morphological and physiological characteristics of *Fucus vesiculosus* L. in the Barents Sea [Vliyanie glubiny proizrastaniya na morfofiziologicheskie pokazateli *Fucus vesiculosus* L. Barentseva morya]. *Algologiya* [Algology]. 2012. Vol. 22. № 4. P. 345–360.
7. Markovskaya E. F., Sergienko L. A., Shklyarevich G. A., Sonina A. V., Starodubtseva A. A., Smol'kova O. V. *Prirodnyy kompleks poberezhiy Belogo moray* [Natural complex of the White Sea coasts]. Petrozavodsk: KarRC of RAS Publ., 2010. 85 p.
8. Mokronosov A. T., Borzenkova R. A. Methods of quantitative assessment of activity of photosynthesizing tissues and organs [Metodika kolichestvennoy otsenki struktury funktsional'noy aktivnosti fotosinteziruyushchikh tkaney i organov]. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Works on applied botany, genetics and selection]. 1978. Vol. 61. Is. 3. P. 119–133.
9. Nagalevskiy V. Ya. *Galofity Severnogo Kavkaza* [Halophytes of the Northern Caucasus]. Krasnodar, Publishing house of Kuban State University, 2001. 246 p.
10. P'yankov V. I. *Rol' fotosinteticheskoy funktsii v adaptatsii rasteniy k usloviyam sredy* [The role of photosynthetic function in plant adaptation to environment conditions: Thesis abstract … doctor of biological sciences]. Moscow, 1993. 103 p.
11. Bercu R., Făgăraş M., Broască L. Anatomical features of *Aster tripolium* L. (*Asteraceae*) to saline environments // Annals of RSCB. 2012. Vol. XVII. № 1. P. 271–277.
12. Brickell C. Encyclopedia of Gardening (RHS) // Edited by Dorling Kindersley. 2007. 736 p.
13. Cornelissen J. H. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S. et al. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian Journ. of Botany. 2003. Vol. 51. P. 335–380.
14. Deil U. Halothytic vegetation along the Arabian coast azonal or linked to climatic zones? // Phytocenologia. 2000. Vol. 30. № 3/4. P. 591–611.
15. Evert R. F. Esau's Plant anatomy: meristems, cells, and tissues of the plant body: their structure, function, and development / Edited by John Wiley and Sons. 2006. 601 p.
16. Knežević A., Stojanović S., Nikolić L., Dźigurski D., Ljevnaić B. Ecological analysis of the flora of saline sites in the northern part of Banat region in Vojvodina Province (Serbia) // Thaiszia. J. Bot. Košice. 2008. № 18. P. 75–92.

Поступила в редакцию 18.03.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Биологические науки** **2014**

УДК 582.29

РОМАН ВИКТОРОВИЧ ИГНАТЕНКО
аспирант кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ocean-9@mail.ru

ВИКТОРИЯ НИКОЛАЕВНА ТАРАСОВА
кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vika18@sampo.ru

СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ ОХРАНЯЕМОГО ЛИШАЙНИКА ЛОБАРИЯ ЛЕГОЧНАЯ (*LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM.) В РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВАХ ПЕТРОЗАВОДСКОГО ГОРОДСКОГО ОКРУГА*

Работа по изучению состояния популяции охраняемого лишайника *Lobaria pulmonaria* в растительных сообществах Петрозаводского городского округа выполнена с помощью маршрутного метода. В месте обитания вида регистрировали характеристики сообщества, параметры деревьев и микроусловий. Для каждого таллома отмечали общую площадь, площадь некрозов (см^2) и функционально-возрастную группу. Анализ данных выполнен на основе описаний 196 талломов, растущих на 87 деревьях. Было установлено, что *L. pulmonaria* чаще всего встречается в ельниках черничных свежих (91 %), где заселяет преимущественно стволы живых осин (*Populus tremula*). Площадь талломов варьирует от 3 до 975 см^2 и в среднем составляет 87,7 ± 8,5 см^2. Популяция вида в растительных сообществах Петрозаводского городского округа является неполночленной – в ней отсутствуют фертильные особи. 30 % функционально-возрастного спектра популяции представлены субсенильными и сенильными особями.

Ключевые слова: *Lobaria pulmonaria*, экология, таежные растительные сообщества, городские леса, Республика Карелия

Lobaria pulmonaria (L.) Hoffm. – эпифитный широколопастной лишайник семейства *Lobariaceae*, внесен в Красные книги различных государств и субъектов, в том числе Российской Федерации (2008) и Республики Карелия (2007). Считается, что вид имеет сравнительно узкую экологическую приуроченность и характеризуется высокими требованиями к среде обитания [4], [5]. В настоящее время на территории европейской части России вид широко представлен только в Республике Карелия, в северной части Архангельской области и в Республике Коми [2], [7]. Краевая часть ареала заходит на территорию Мурманской области, но там лобария легочная встречается очень редко [7]. Наряду с этим имеются данные о высокой устойчивости вида к воздействию антропогенных факторов и отсутствии угрозы ему на территории Восточной Фенноскандии, в том числе и на территории Республики Карелия, где он широко распространен [2], [7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Петрозаводск – столица Республики Карелия, промышленный, транспортный и туристический центр Северо-Западного федерального округа России, расположен на юго-западном берегу Онежского озера (61°50' с. ш., 34°20' в. д.). Площадь Петрозаводского городского округа (ПетрГО) составляет 113,0 км^2, население – 266,2 тысячи человек [1]. В пределах городской черты сохранены крупные фрагменты естественной растительности, которые представлены в основном еловыми и сосновыми лесами. В настоящее время в ПетрГО площадь зеленых насаждений общего пользования составляет около 400 га. На территории городского округа находятся два природоохранных объекта: Ботанический сад ПетрГУ (367 га) и часть природного заказника «Заозерский» (400 га). В ПетрГО встречается 228 видов лишайников [8], в том числе лобария легочная.

Сбор материала проводился в вегетационные сезоны 2011–2012 годов в естественных растительных сообществах ПетрГО. Для изучения состояния популяции *L. pulmonaria* использован маршрутный метод. Маршруты разрабатывались предварительно по космическим снимкам лесных насаждений таким образом, чтобы максимально охватить территорию исследования и все типы растительных сообществ. Было исследовано 5 маршрутов («Кукковка», «Древлянка», «Томицы», «Радиозавод», «Ландшафтный заказник “Заозерский”») общей протяженностью ~ 42 км. В месте обитания вида регистрировали характеристики сообщества: тип леса, сомкнутость крон (сквозистомером Ипатова), сумму площадей сечений стволов деревьев (полнотомером Биттерлиха); параметры деревьев: породу, возраст (возрастным буравом), высоту (эклиметром), диаметр ствола у основания и на высоте

© Игнатенко Р. В., Тарасова В. Н., 2014

130 см (рулеткой); параметры микроусловий: экспозицию ствола (компасом), высоту над землей (рулеткой), угол наклона поверхности ствола (горным компасом). Для каждого таллома при помощи рамки 25 × 25 см отмечали общую площадь и площадь некрозов (см^2), а также принадлежность к функционально-возрастной группе по методике И. Н. Михайловой [3]: стерильные, гипосорediозные, мезосорediозные, гиперсорediозные, субсенильные, сенильные, фертильные.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В естественных растительных сообществах ПетрГО было обнаружено 196 экземпляров *L. pulmonaria*, растущих на 87 деревьях. Плотность популяции в среднем составляет 4,7 таллома на 1 км маршрута. Площадь таллома существенно варьирует – от 3,1 до 975 см^2. Частотный анализ площади талломов показал, что распределение этого признака соответствует логнормальному, имеет четко выраженную левостороннюю асимметрию и островершинный эксцесс, что подтверждается высокими значениями коэффициентов асимметрии (3,9) и эксцесса (22,1) (рис. 1), а также существенными различиями в значениях средней арифметической – 87,7 ± 8,5 см^2 и моды – 6,3. Таким образом, свыше 75 % всех талломов имеет небольшую площадь – от 3 до 115 см. Площадь некрозов изменяется от 0,1 до 50 см^2, составляя в среднем 2,2 ± 0,4 см^2. Доля талломов с некрозами возрастает с увеличением площади таллома: если среди образцов площадью от 3 до 115 см^2 49 % талломов были с некрозами, то в группе площадью 115,1–230 см^2 их уже 87 %, а среди талломов площадью свыше 230 см^2 эта величина достигает 100 %.

Лишайник на территории города распространен неравномерно. Наибольшее число талломов встречается в растительных сообществах микрорайонов Кукковка, Древлянка и ландшафтном заказнике «Заозерский» (рис. 2).

На территории исследования лишайник был обнаружен в лесных сообществах трех формаций: ельниках (черничных влажных, черничных свежих), осинниках и березняках (разнотравно-черничных) (таблица). Наибольшее число талломов (178, 94 %) встречается в ельниках черничных свежих с участием осины, вероятно, ввиду большей распространенности данного типа леса в пределах ПетрГО. Во вторичных лесах, восста-

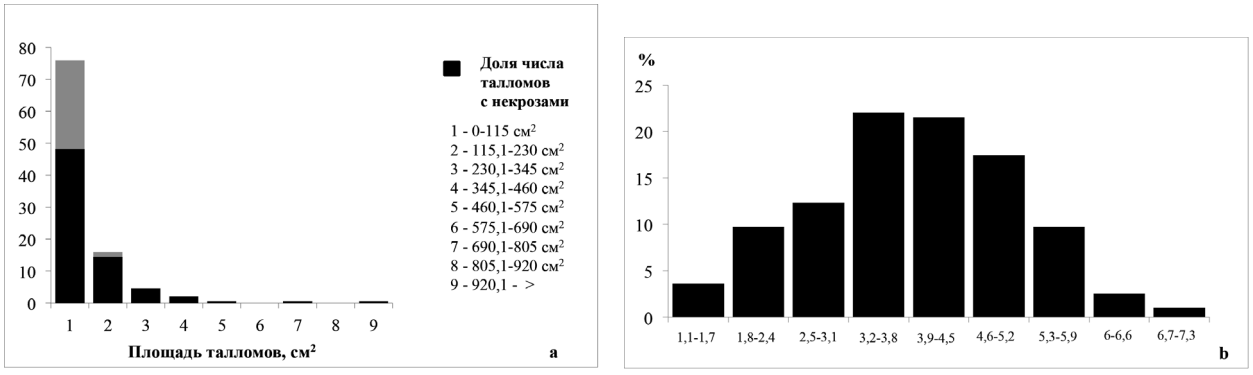


Рис. 1. Распределение числа талломов *L. pulmonaria* (%) по площади (*a*) и по натуральному логарифму площади (*b*)

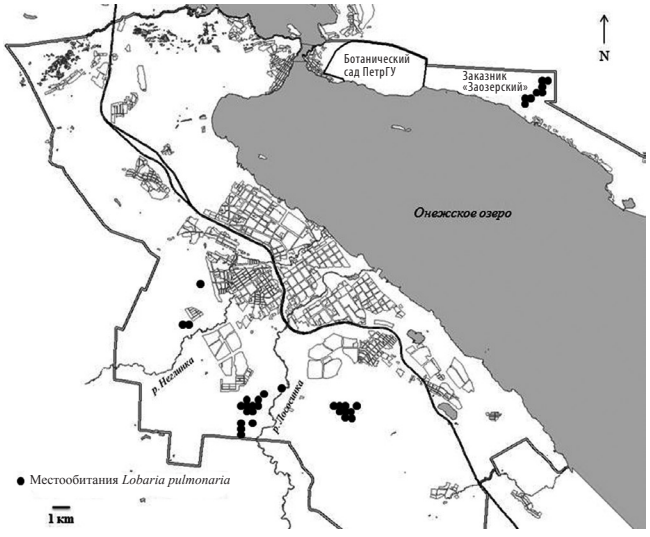


Рис. 2. Распространение *L. pulmonaria* в лесных сообществах Петрозаводского городского округа

Основные характеристики изученных сообществ

Тип леса	Формула древостоя	Сумма площадей сечения древостоя, $м^2га^{-1}$	Доля участия осины в древостое, %	Сомкнутость крон, %	Число талломов лобарии легочной	Средняя площадь таллома, $см^2$
Ельник черничный влажный	4Е3ОС3Б	35	33	71	6	116 ± 44
Ельник черничный свежий	5Е4ОС1Б	22	31	53	178	78 ± 7
Осинник разнотравно-черничный	6ОС4Е	29	57	60	10	236 ± 88
Березняк разнотравно-черничный	6Б3С1Е	22	6	65	2	116 ± 102

навливающихся после нарушений, – осинниках и березняках – было обнаружено всего 10 (5 %) и 2 (1 %) таллома соответственно, что, вероятно, связано с отсутствием здесь подходящих условий для заселения и роста данного вида, прежде всего – старых деревьев осины.

Согласно литературным источникам, на территории средней подзоны тайги лобария легочная чаще всего встречается в травяных и травяно-черничных лесах [2], что подтверждает полученные данные.

В пределах ПетрГО лобария обитает на трех видах форофитов: на осине обыкновенной (*Populus tremula*) (в живом состоянии и в виде сухостоя и валежа), иве козьей (*Salix caprea*) и рябине обыкновенной (*Sorbus aucuparia*). Из 196 изученных талломов 186 (95 %) произрастали на осине, 8 (4 %) на иве и 2 (1 %) на рябине.

В подзоне средней тайги *L. pulmonaria* успешно осваивает производные леса возрастом 50 лет и более [2]. Возраст деревьев осины, на которых обитает данный вид в пределах ПетрГО, варьирует от 55 до 157 лет и в среднем составляет 99 лет. Подавляющее число талломов (68 %) обнаружено на деревьях возрастом от 71 до 102 лет (рис. 3a). Установлено, что с увеличением высоты дерева число талломов лишайника возрастает (рис. 3b). Вид обитает на деревьях с диаметром ствола от 14 до 54 см. 74 % талломов были обнаружены на деревьях диаметром от 27 до 49 см.

Таким образом, лобария легочная с большей вероятностью может быть найдена на стволах более старых осин с высокими значениями таксационных параметров.

Лишайник на территории ПетрГО обитает преимущественно на северных, северо-восточных и восточных экспозициях ствола, где обнаружено 70 % всех талломов (рис. 4).

Все изученные талломы лобарии были обнаружены исключительно на положительно наклоненных поверхностях стволов деревьев, ве-

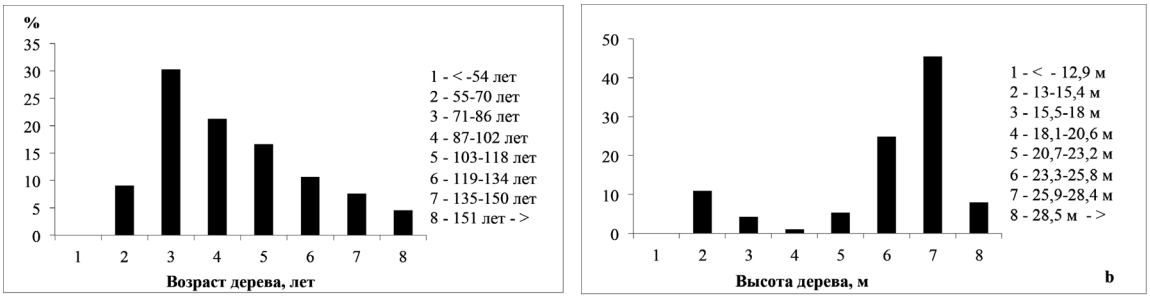


Рис. 3. Распределение числа талломов *L. pulmonaria* (%) на деревьях разного возраста (*a*) и разной высоты (*b*)

Рис. 4. Число талломов *L. pulmonaria* на разных экспозициях стволов деревьев

личина угла наклона которых варьировала от 0 до 36 градусов. Преобладание числа талломов лишайника на северной – восточной экспозициях и на положительно наклоненных поверхностях ствола характеризует *L. pulmonaria* как вид, требовательный к условиям увлажнения, так как угол наклона существенно влияет на изменение режима увлажнения ствола – отрицательные поверхности получают меньше влаги из атмосферы по сравнению с положительно наклоненными [6]. Также очевидно, что для успешного произрастания вида большое значение имеет отсутствие прямого солнечного света, чем обеспеченность теплом [2].

На стволах обследованных деревьев талломы лобарии обитают на высоте от 22 до 186 см от поверхности земли, большинство (63 %) талломов были обнаружены на высоте 60–140 см, в единичных случаях встречаются экземпляры, растущие выше 2 м (учету не подвергались). Очевидно, что *L. pulmonaria* предпочитает селиться выше уровня снежного покрова.

Кислотность корки осины на территории ПетрГО варьирует в пределах от 4,1 до 6,4. В месте обитания лобарии значения pH корки составляют в среднем 5,2 и значимо отличаются (F = 8,45**, ОДА) от значений в местах, где она отсутствует ($pH_{ср}$ = 4,9). Это подтверждает факт высокого требования лобарии к режиму увлажнения, косвенным показателем которого является величина pH. Из литературных источников известно, что более увлажненные участки ствола имеют более высокие значения pH [6].

В растительных сообществах ПетрГО были обнаружены все известные из литературы функционально-возрастные группы, кроме фертильной [3]. В популяционном спектре доминируют молодые группы талломов: стерильные (17 %), гипосередиозные (23 %), мезосередиозные (16 %), гиперсередиозные (13 %). На долю старых разрушающихся особей из общего спектра приходится 31 %: субсенильных – 21 %, сенильных – 10 % (рис. 5).

Таким образом, популяция охраняемого лишайника *L. pulmonaria* на территории Петрозаводского городского округа является неполночленной, в ней отсутствуют фертильные особи.

L. pulmonaria на территории ПетрГО произрастает локально. Ее талломы не образуют больших скоплений на одном стволе дерева и в основном представлены единично. В связи с этим плотность популяции лишайника в ПетрГО достаточно низка. В популяционном спектре примерно треть занимают старые особи с высокой степенью некрозов и частичным разрушением талломов.

Территория ПетрГО является в своем роде уникальной вследствие наличия в его растительных сообществах редкого и охраняемого вида лишайника в Европе – *L. pulmonaria*. Но отсутствие коренных старовозрастных ельников, вырубка лесов в связи со строительством новых жилых микрорайонов, а также повышенный уровень загрязнения атмосферного воздуха в ПетрГО приводят к тому, что вид находится на грани своей экологической пластичности. Поэтому любые изменения условий, влияющих на произрастание вида, могут стать катастрофическими для продолжения существования лобарии легочной в растительных сообществах ПетрГО.

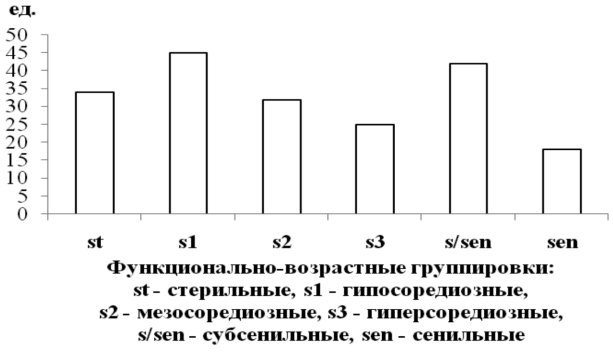


Рис. 5. Число талломов *L. pulmonaria,* относящихся к разным функционально-возрастным группировкам

* Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки России (проект № 6.724.2014/к).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросова В. И. Характеристика города Петрозаводск // Растения и лишайники города Петрозаводск (аннотированные списки видов). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. С. 8–12.
2. Кравченко А. В., Фадеева М. А. Распространение и состояние лобарии легочной (*Lobaria pulmonaria*) на юго-востоке Фенноскандии // Международное совещание «Лишайники бореальных лесов» и Четвертая российская полевая лихенологическая школа. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. С. 60–74.
3. Михайлова И. Н. Анализ субпопуляционных структур эпифитных лишайников (на примере *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачева. 2005. № 1. Вып. 9. С. 124−134.

4. Пыстина Т. Н., Семенова Н. А. Некоторые аспекты изучения экологических особенностей лишайника *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. на европейском северо-востоке России // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. 2004. № 9 (38). С. 4–9.
5. Семенова Н. А. Некоторые характеристики деревьев-форофитов лишайника *Lobaria pulmonaria* в таежных лесах Республики Коми // Материалы докладов пятнадцатой Коми республиканской молодежной научной конференции: В 2 т. Т. 2: Одиннадцатая молодежная научная конференция Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Актуальные проблемы биологии и экологии» (19–23 апреля 2004 г.). Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2004. С. 267–269.
6. Тарасова В. Н., Андросова В. И., Сонина А. В. Лишайники. Ч. 2. Физиология, экология, лихеноиндикация. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. 268 с.
7. Фадеева М. А., Кравченко А. В. Влияние антропогенных факторов на охраняемый лишайник *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в краевой части ареала // Международная научная конференция, посвященная 135-летию со дня рождения И. И. Спрыгина (Пенза, 13–16 мая 2008 г.) «Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения»: Материалы конференции. Ч. 1. Пенза: ПГПУ им. В. Г. Белинского, 2008. С. 405−406.
8. Tarasova V. N., Sonina A. V., Androsova V. I., Teuvo Ahti. The present lichen flora of the city of Petrozavodsk // Folia Cryptog. Estonica. 2013. Vol. 50. P. 57–66.
9. Zoller S., Lutzoni F., Scheidegger C. Genetic variation within and among populations of the threatened lichen *Lobaria pulmonaria* in Switzerland and implications for its conservation // Molec. Ecol. 1999. Vol. 8. P. 2049–2059.

Ignatenko R. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Tarasova V. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

STATE OF THE POPULATION (*LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM.) IN THE PLANT COMMUNITIES OF THE PETROZAVODSK CITY DISTRICT

An observation of the protected *Lobaria pulmonaria* lichen population in the plant communities of the Petrozavodsk city district was accomplished by using a route method. Characteristics of the community, trees and microenvironment's parameters were registered in the habitat of these species. The total area, the necrosis area (cm^2), and the belonging to a functional age group were marked for each lichen thallus. The data analysis is based on the descriptions of 196 lichen thalli growing on 87 trees. It was established that *Lobaria pulmonaria* is most often found in fresh bilberry spruce forests (91 percent) where it inhabits mainly trunks of the living aspens (*Populus tremula*). The area of *Lobaria pulmonary* thalli varies from 3,1 cm^2 to 975 cm^2, what makes an average area of 87,7 ± 8,5 cm^2. The species population in the plant communities of the Petrozavodsk city district is not fully-membered, as there are no fertile species. 30 percent of the population's functional age spectrum is presented by the subsenile and senile species.

Key words: *Lobaria pulmonaria*, ecology, taiga plant communities, city forests, Republic of Karelia

REFERENCES

1. Androsova V. I. Characteristic of the city of Petrozavodsk [Kharakteristika goroda Petrozavodsk]. *Rasteniya i lishayniki goroda Petrozavodsk (annotirovannye spiski vidov)* [Plants and lichens of the city of Petrozavodsk (annotated lists of species)]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2010. P. 8–12.
2. Kravchenko A. V., Fadeeva M. A. Distribution and condition of *Lobaria pulmonaria* in the South-East Fennoscandia [Rasprostranenie i sostoyanie lobarii legochnoy (*Lobaria pulmonaria*) na yugo-vostoke Fennoskandii]. *Mezhdunarodnoe soveshchanie "Lishayniki boreal'nykh lesov" i Chetvertaya rossiyskaya polevaya likhenologicheskaya shkola* [The International Conference "Lichens of the Boreal Forests" and the Fourth Russian field school to study the lichens]. Syktyvkar, Institute of Biology, Komi Science Centre UrO RAN Publ., 2008. P. 60–74.
3. Mikhaylova I. N. The analysis of the subpopulation structures of the epiphytic lichens (the case of *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) [Analiz subpopulyatsionnykh struktur epifitnykh lishaynikov (na primere *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.)]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobacheva* [Newsletter of the Nizhny Novgorod University of N. I. Lobachev]. 2005. № 1. Issue 9. P. 124−134.
4. Pystina T. N., Semenova N. A. Some aspects of studying ecological features of *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. lichen in the European Northeast of Russia [Nekotorye aspekty izucheniya ekologicheskikh osobennostey lishaynika *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. na evropeyskom severo-vostoke Rossii]. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN* [Newsletter of the Institute of Biology of Komi NTs OURO RAHN]. 2004. № 9 (38). P. 4–9.
5. Semenova N. A. Some characteristics of the phorophyte trees of Lobaria pulmonaria lichen in the taiga woods of the Komi Republic [Nekotorye kharakteristiki derev'ev-forofitov lishaynika *Lobaria pulmonaria* v taezhnykh lesakh Respubliki Komi]. *Materialy dokladov pyatnadtsatoy Komi respublikanskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii: V 2 t. T. 2: Odinnadtsataya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya Instituta biologii Komi NTs UrO RAN "Aktual'nye problemy biologii i ekologii"* [Reports of the 15th Komi Republican Youth Scientific Conference: In 2 volumes). 11th Youth Scientific Conference of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Department of the Russian Academy of Sciences "Current Problems of Biology and Ecology"]. Syktyvkar, 2004. Vol. 2. P. 267–269.
6. Tarasova V. N., Sonina A. V., Androsova V. I. *Lishayniki. Chast' 2. Fiziologiya, ekologiya, likhenoindikatsiya* [Lichens. Part 2. Physiology, ecology, lichen indication]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2012. 268 p.
7. Fadeeva M. A., Kravchenko A. V. Influence of anthropogenic factors on protected *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. lichen in regional part of an area [Vliyanie antropogennykh faktorov na okhranyaemyy lishaynik *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. v kraevoy chasti areala]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya, posvyashchennaya 135-letiyu so dnya rozhdeniya I. I. Sprygina "Bioraznoobrazie: problemy i perspektivy sokhraneniya"* [The International Scientific Conference devoted to the 135th anniversary of I. I. Sprygin's birth "Biodiversity: Problems and Prospects of Conservation"]. Penza, 2008. Part 1. P. 405−406.
8. Tarasova V. N., Sonina A. V., Androsova V. I., Teuvo Ahti. The present lichen flora of the city of Petrozavodsk // Folia Cryptog. Estonica. 2013. Vol. 50. P. 57–66.
9. Zoller S., Lutzoni F., Scheidegger C. Genetic variation within and among populations of the threatened lichen *Lobaria pulmonaria* in Switzerland and implications for its conservation // Molec. Ecol. 1999. Vol. 8. P. 2049–2059.

Поступила в редакцию 23.05.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Биологические науки** **2014**

УДК 582.32(470.22-25)

МАРГАРИТА АРСЕНЬЕВНА БОЙЧУК
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
boychuk@krc.karelia.ru

МХИ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА (ПО МАТЕРИАЛАМ ГЕРБАРИЯ БОТАНИЧЕСКОГО МУЗЕЯ УНИВЕРСИТЕТА ХЕЛЬСИНКИ)

В Гербарии Ботанического музея Университета г. Хельсинки («H») автором в 2009 и 2013 годах обнаружено 204 образца мхов из Петрозаводска. Коллекторами были W. Nylander (год сбора – 1850), A. Kullhem (1860, 1863, 1869), Th. Simming (1862, 1863, 1869), A. Günther (1862, 1863), M. Brenner (1863), Th. Saelan (1865), J. Sahlberg (1869), J. P. Norrlin (1870), F. Elfving (1871), J. I. Liro и A. K. Cajander (1898), U. Perttula (1941), M. Kotilainen (1943). Приводится список мхов, насчитывающий 116 таксонов (112 видов и 4 разновидности), с указанием даты сбора, коллектора и гербарного номера образца. Часть таксонов (67 видов и 2 разновидности) опубликована. Сравнение гербарных и современных (172 вида) данных по флоре мхов города показало немалое сходство (79 общих вида, или 70 %). Наиболее уязвимыми к антропогенному фактору оказались мхи прибрежно-водных и скальных местообитаний. В целом флора мхов г. Петрозаводска, по всем имеющимся данным, насчитывает 210 таксонов (206 видов и 4 разновидности).

Ключевые слова: мхи, образцы, г. Петрозаводск, Гербарий, Университет г. Хельсинки

ВВЕДЕНИЕ

Флора мхов г. Петрозаводска, по современным данным (сборы 1995–2010 годов), насчитывает 172 вида [1], но мхи на территории города собирались и намного раньше. Большой вклад внесли финские ботаники. В «русский» период (Финляндия с 1809 по 1917 год входила в состав России) ботаники из Александровского императорского университета (ныне – Университет Хельсинки) проводили активные флористические исследования на территории Карелии, в том числе в Петрозаводске. Во время Великой Отечественной войны некоторые финские ботаники, находясь в составе действующей армии, собирали растения на оккупированной территории города. Коллекции собранных материалов хранятся в Гербарии Ботанического музея Университета г. Хельсинки («H»).

Гербарий Ботанического музея Университета г. Хельсинки («H») – один из крупнейших гербариев мира. Он содержит более 3,3 млн образцов растений и грибов. Коллекции мохообразных (печеночников, антоцеротовых, мхов) в Гербарии «H» насчитывают приблизительно 700 000 образцов [6]. Они разделены на Общий гербарий (образцы со всего мира) и Гербарий Восточной Фенноскандии (200 000 образцов из Финляндии и северо-западной России).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2009 и 2013 годах автором статьи изучались образцы мхов г. Петрозаводска в Гербарии Восточной Фенноскандии Ботанического музея Университета г. Хельсинки. Особое внимание уделялось просмотру содержимого гербарных папок биогеографических провинций «Kon» (*Karelia onegensis*) и «Kol» (*Karelia olonetsensis*), к которым, по биогеографическому районированию Восточной Фенноскандии [4], относится г. Петрозаводск. По материалам Гербария Ботанического музея Университета г. Хельсинки составлен аннотированный список мхов г. Петрозаводска. Проводилось сравнение полученных гербарных и современных данных по флоре мхов города.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Гербарии Ботанического музея Университета г. Хельсинки автором статьи обнаружено 204 образца мхов из г. Петрозаводска. В основном они были собраны во второй половине XIX века. Коллекторами мхов были W. Nylander (год сбора – 1850), A. Kullhem (1860, 1863, 1869), Th. Simming (1862, 1863, 1869), A. Günther (1862, 1863), M. Brenner (1863), Th. Saelan (1865), J. Sahlberg (1869), J. P. Norrlin (1870), F. Elfving (1871), J. I. Liro и A. K. Cajander (1898). Наибольшее количество мхов собрали финские ботаники Th. Simming (63 образца) и A. Kullhem (48). Девять образцов собрал U. Perttula 1 октября 1941 года (за день до оккупации г. Петрозаводска), 1 образец – M. Kotilainen 7 июля 1943 года. Все образцы мхов находятся в хорошем состоянии. На этикетках указываются географический пункт (г. Петрозаводск), дата сбора и фамилия коллектора. К сожалению, отсутствуют сведения о точном месте сбора, местообитании и субстрате.

В списке (см. ниже) после названия вида (по: [5]) приводятся дата сбора, фамилия коллектора и номер гербарного образца. В скобках указы-

© Бойчук М. А., 2014

ваются синонимы (как на этикетке). Для некоторых образцов информация неполная (отсутствуют число и месяц сбора). Виды, повторно собранные в 1995–2010 годах, обозначены звездочкой (*).

Abietinella abietina (Hedw.) M. Fleisch. (*Thuidium abietinum*): 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4000470).

Amblystegium serpens (Hedw.) Bruch et al. (*Hypnum serpens*): 22.VI.1863, A. Kullhem (H–4001798).

Amblystegium serpens var. ***juratzkanum*** (Schimp.) Rau & Herv. (*Hypnum juratzkanum*): VII.1863, M. Brenner (H–4000708).

Amphidium lapponicum (Hedw.) Schimp.: 10.VI.1863, Th. Simming (H–4003360).

Anomodon attenuatus (Hedw.) Huebener: 16.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222527, H–4222329, H–4222330).

Anomodon viticulosus (Hedw.) Hook. & Taylor: 7.VI.1863, Th. Simming (H–4006946, H–4007005); 1863, Th. Simming (H–4007004); 16.VI.1898, Liro & Cajander (H– 4222332).

Atrichum tenellum (Röhl.) Bruch et al. (*Catharinaea undulata*): 1863, Th. Simming (H–4008408, H–4008394).

Brachythecium rivulare Bruch et al. (*Hypnum rivulare*): VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4018921).

Brachythecium salebrosum (F. Weber & D.Mohr) Bruch et al. (*Hypnum salebrosum*): 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4020593).

Breidleria pratensis (W. D. J. Koch ex Spruce) Loeske (*Hypnum pratense, Isopterygium pratense, Hypnum protensum*): 4.VI.1863, A. Kullhem (H–4083461, H–4083462); 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4037485).

Bryum argenteum Hedw.: 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4024230).

Bryum caespiticium Hedw.: 1850, W. Nylander (H–4024737).

Bryum cyclophyllum (Schwägr.) Bruch et al.: 1870, J. P. Norrlin (H–4025357).

Bryum intermedium (Brid.) Blandow: W. Nylander (H–4025881).

Bryum pallens Sw.: 29.VII.1863, A. Kullhem (H–4026752).

Bryum pseudotriquetrum (Hedw.) P. Gaertn., B. Mey. & Scherb. (*Bryum ventricosum*): 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4229042, H–4222471, H–4222384).

Calliergon cordifolium (Hedw.) Kindb. (*Hypnum cordifolium, Amblystegium cordifolium*): 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4032977); 6.VI.1863, M. Brenner (H–4032970); Th. Simming (H–4032978).

Calliergon giganteum (Schimp.) Kindb.: 1.X.1941, U. Perttula (H–4033789).

Calliergonella cuspidata (Hedw.) Loeske (*Acrocladium cuspidatum*): 1.X.1941, U. Perttula (H–4036502).

Calliergonella lindbergii (Mitt.) Hedenäs (*Hypnum lindbergii, Hypnum arcuatum*): 28.VI.1863, A. Kullhem (H–4082441); VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4082442).

Campylium protensum (Brid.) Kindb.: 5.VIII.1863, Th. Simming (H–4038891).

Campylium stellatum (Hedw.) C. E. O. Jensen (*Amblystegium stellatum*): 14.06.1898, Liro & Cajander (H–4222412); 1.X.1941, U. Perttula (H–4038332).

Cinclidium stygium Sw.: 5.VIII.1863, Th. Simming (H–4040655, H–4040660).

Climacium dendroides (Hedw.) F. Weber & D. Mohr: 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4042076); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222424).

Cnestrum schisti (F. Weber & D. Mohr) I. Hagen (*Dicranum schistii*): 5.VIII.1863, Th. Simming (H–4087569).

Cratoneuron filicinum (Hedw.) Spruce (*Hypnum filicinum*): 2.VIII.1863, Th. Simming (H–4043204, H–4043213); 1863, Th. Simming (H–4043203, H–4043206).

Dichelyma falcatum (Hedw.) Myrin: 1.VIII.1863, A. Kullhem (H–4046191); VI.1863, Th. Simming (H–4046283); 4.VIII.1863, Th. Simming (H–4046192, H–4046194; H–4046287).

Dichodontium pellucidum (Hedw.) Schimp.: VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4046627).

Dicranella cerviculata (Hedw.) Schimp.: 2.VIII.1863, Th. Simming (H–4046958).

Dicranella subulata (Hedw.) Schimp.: 29.VII.1863, A. Kullhem (H–4047434).

Dicranum bonjeanii De Not. (*Dicranum palustre*): 6.VI.1863, 7.VI.1863, Th. Simming (H–4048605, H–4048606).

Dicranum fragilifolium Lindb.: 22.VI.1863, Th. Simming (H–4049747); 1.X.1941, U. Perttula (H–4049750).

Dicranum scoparium Hedw.: 6.VI.1863, M. Brenner (H–4054294); 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4054295).

Ditrichum cylindricum (Hedw.) Grout (*Trichodon cylindricus*): 7.VI.1863, Th. Simming (H–4058399).

Drepanocladus aduncus (Hedw.) Warnst. (*Amblystegium kneifii, Hypnum aduncus*): 22.VI.1863, Th. Simming (H–4059066); VI.1869, J. Sahlberg (H– 4059006); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222471).

Drepanocladus sendtneri (Schimp. ex H. Müll.) Warnst. (*Hypnum sendtneri*): 28.VI.1863, A. Kullhem (H–4059705).

Eurhynchiastrum pulchellum (Hedw.) Ignatov & Huttunen (*Hypnum strigosum, Eurhynchium strigosum*): 10.VI.1863, A. Kullhem (H–4063830); 22.VI.1869, A. Kullhem (H–4063728); 5.VIII.1863, A. Kullhem (H– 4063831).

Fissidens adianthoides Hedw.: 1.X.1941, U. Perttula (H–4064669).

Fissidens osmundoides Hedw.: 1.X.1941, U. Perttula (H–4065218).

Fontinalis antipyretica Hedw.: 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4066533).

Fontinalis antipyretica var. ***gracilis*** (Lindb.) Schimp. (*Fontinalis gracilis*): 1870, J. P. Norrlin (H–4066862).

Funaria hygrometrica Hedw.: 7.VI.1863, Th. Simming (H–4068268).

Grimmia muehlenbeckii Schimp.: 17.VI.1863, A. Kullhem (H–4070024).

Hamatocaulis vernicosus (Mitt.) Hedenäs (*Hypnum vernicosum, Amblystegium vernicosum*): VI.1869, J. Sahlberg (H–4092181); VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4092182, H–4092203).

Helodium blandowii (F. Weber & D. Mohr) Warnst.: 4.VIII.1863, A. Kullhem (H–4073263).

Homalia trichomanoides (Hedw.) Bruch et al. (*Neckera trichomanoides*): 4.VI.1863, Th. Simming (H–4075761).

Hygroamblystegium fluviatile (Hedw.) Loeske (*Amblystegium fluviatile*): 5.VIII.1863, Th. Simming (H–4077154); 10.VIII.1863, Th. Simming (H–4077118); 1863, Th. Simming (H–4077155).

Hygrohypnella ochracea (Turner ex Wilson) Ignatov & Ignatova (*Hygrohypnum ochraceum, Hypnum ochraceum*): 7.VI.1863, Th. Simming (H–4078427); 1.VIII.1860, A. Kullhem (H–4077956); 4.VIII.1863, Th. Simming (H–4077954, H–4077953); VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4077947, H–4077948, H–4078009).

Hylocomium splendens (Hedw.) Bruch. et al. (*Hylocomium proliferum*): 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4079166).

Hymenoloma crispulum (Hedw.) Ochyra (*Weissia crispula*): 29.VII. 1869, A. Kullhem (H–4047799).

Isopterygiopsis pulchella (Hedw.) Z. Iwats. (*Isopterygium nitidulum, Isopterygium pulchellum* var. *nitidulum*): 4.VI.1863, A. Kullhem (H–4084966); 2.VII.1863, Th. Simming (H–4084981); II.1865, Th. Saelan (H–4084965).

Kiaeria blyttii (Bruch et al.) Broth.: 5.VIII.1863, Th. Simming (H–4087570).

Leptodictyum riparium (Hedw.) Warnst. (*Hypnum riparium, Amblystegium riparium* var. *longifolium*): 1.VIII.1863, Th. Simming (H–4088596); 4.VIII.1863, Th. Simming (H–4088624).

Leucodon sciuroides (Hedw.) Schwägr.: 16.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222527).

Meesia longiseta Hedw. (*Meesia longiseta*): 1871, F. Elfving (H–4092712).

Meesia triquetra (Jolycl.) Ångstr.: 1850, W. Nylander (H–4092830).

Meesia uliginosa Hedw.: 1850, W. Nylander (H–4093178); 1.VIII.1863, A. Kullhem (H–4093177).

Mnium marginatum (Dicks.) P. Beauv.: 1863, A. Günther (H–4094317).

Mnium stellare Hedw. (*Astrophyllum stellare*): 1.VIII.1863, A. Kullhem (H–4094945); VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4094942).

Neckera complanata (Hedw.) Huebener: 4.VI.1863, Th. Simming (H–4096492).

Neckera pennata var. ***tenerum*** Müll. Hal. (*Neckera oligocarpa*): 10.VI.1863, Th. Simming (H–4097251).

Niphotrichum ericoides (Brid.) Bednarek-Ochyra & Ochyra (*Grimmia ericoides*): 21.VI.1863, A. Kullhem (H–4131470).

Orthotrichum obtusifolium Brid.: 1862, A. Günther (H–4100655).

Orthotrichum rupestre Schleich. ex Schwägr.: 1863, Th. Simming (H–4101604).

Orthotrichum rupestre var. ***sturmii*** (Hornsch.) Jur. (*Orthotrichum sturmii*): 2.VII.1863, Th. Simming (H–4101602).

Orthotrichum speciosum Nees: 17.VI.1863, A. Kullhem (H–4102287); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4229041).

Paludella squarrosa (Hedw.) Brid.: 22–23. VII.1863, Th. Simming (H–4102969, H–4102970, H–4102971); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4229041).

Philonotis tomentella Molendo: 7.VI.1863 Th. Simming (H–4105914).

Plagiomnium cuspidatum (Hedw.) T. J. Kop. (*Astrophyllum silvaticum*): H–4107925, H–4108132.

Plagiomnium drummondii (Bruch & Schimp.) T. J. Kop. (*Mnium drummondii*): 6.VI.1863, Th. Simming (H–4108129); 1863, A. Günther (H–4108120).

Plagiopus oederianus (Sw.) H. A. Crum & L. E. Anderson (*Bartramia oederi*): 16.06.1898, Liro & Cajander (H–4222564).

Platygyrium repens (Brid.) Bruch et al. (*Leptobryum repens*): A. Günther (H–4116697).

Pogonatum urnigerum (Hedw.) P. Beauv. (*Polytrichum urnigerum*): 10.VI.1863, Th. Simming (H–4117908).

Pohlia cruda (Hedw.) Lindb.: 2.VII.1863, Th. Simming (H–4119176).

Pohlia nutans (Hedw.) Lindb.: 1850, W. Nylander (H–4120747, H–4120748); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222580).

Pohlia wahlenbergii (F. Weber & D. Mohr) A. L. Andrews (*Mniobryum albicans, Bryum wahlenbergii*)): 26.VI.1869, J. Sahlberg (H–4093411); 28.VI.1869, J. Sahlberg (H–4093412); VI.1869, J. Sahlberg (H–4093413).

Polytrichastrum longisetum (Sw. ex Brid.) G. L. Sm. (*Polytrichum gracile*): 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222592).

Pseudobryum cinclidioides (Huebener) T. J. Kop. (*Athophyllum cinclidioides*): 21.VI.1863, A. Kullhem (H–4126801).

Pseudoleskeella nervosa (Brid.) Nyholm (*Leskea nervosa*): 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4089680, H–4089681); 5.VIII.1863, A. Kullhem (H–4089682).

Ptilium crista-castrensis (Hedw.) De Not. (*Hypnum crista-castrensis*): 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4129183); 7.VI.1863, Th. Simming (H–4129104).

***Pylaisia polyantha** (Hedw.) Bruch et al. (*Leskea polyantha*): 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4129799); 6.VI.1863, M. Brenner (H–4129800).

***Rhodobryum roseum** (Hedw.) Limpr. (*Bryum roseum*): 6.VI.1863, Th. Simming (H–4210412).

***Rhytidiadelphus squarrosus** (Hedw.) Warnst. (*Hylocomium squarrosum*): 21.06.1863, A. Kullhem (H–4211031).

***Rhytidiadelphus triquetrus** (Hedw.) Warnst. (*Hylocomium triquetrum*): 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4211844); 1.X.1941, U. Perttula (H–4211922).

***Rhytidium rugosum** (Hedw.) Kindb. (*Hylocomium rugosum*): 16.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222515, H–4222628).

***Sanionia uncinata** (Hedw.) Loeske (*Hypnum uncinatum*): 4.VIII.1863, Th. Simming (H–4214061).

***Schistidium agassizii** Sull. & Lesq. (*Grimmia apocarpa var. alpicola*): 19.VI.1863, A. Kullhem (H–4214878).

***Schistidium apocarpum** (Hedw.) Bruch et al.: 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4215448).

***Schistidium rivulare** (Brid.) Podp. (*Schistidium alpicola var. rivulare*): 7.VII.1943, M. Kotilainen (H–4217030).

***Sciuro-hypnum populeum** (Hedw.) Ignatov & Huttunen (*Brachythecium populeum, Hypnum populeum*): 5.VIII.1863, Th. Simming (H–4077154); 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4017164); 1863, Th. Simming (H–4017165); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222370).

***Sciuro-hypnum reflexum** (Starke) Ignatov & Huttunen (*Hypnum reflexum*): 6.VI.1863, A. Kullhem (H–4018296).

***Scorpidium cossonii** (Schimp.) Hedenäs (*Hypnum intermedium*): 5.VIII.1863, Th. Simming (H–4090957).

***Seligeria campylopoda** Kindb.: 1863, A. Günther (H–4221005).

***Sphagnum angustifolium** (C. E. O. Jensen ex Russow) C. E. O. Jensen: 10.VIII.1862, Th. Simming (H–4225960).

***Sphagnum aongstroemii** Hartm. (*Sphagnum infulosum*): 1863, A. Günther (H–4225966); 5.VII.1863, Th. Simming (H–4225965); VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4225961, H–4225962).

***Sphagnum compactum** Lam. & DC. (*Sphagnum rigidum*): VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4225963).

***Sphagnum contortum** Schultz (*Sphagnum lariginum*): 1850, W. Nylander (H–4225967).

***Sphagnum fallax** (H.Klinggr.) H. Klinggr. (*Sphagnum recurvatum*): VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4225968, H–4225969).

***Sphagnum fimbriatum** Wilson: A. Günther (H–4225970).

***Sphagnum majus** (Russow) C. E. O. Jensen (*Sphagnum medium*): 1870, J. P. Norrlin (H–4225971).

***Sphagnum riparium** Ångstr.: VIII 1870, J. P. Norrlin (H–4225972).

***Sphagnum squarrosum** Crome: 4.VIII.1863, Th. Simming (H–4225974, H–4225977).

***Sphagnum warnstorfii** Russow: 1.X.1941, U. Perttula (H–4225975).

***Sphagnum wulfianum** Girg.: VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4225976, H–4225978).

***Splachnum ampullaceum** Hedw.: 1850, W. Nylander (H–4221435).

***Splachnum luteum** Hedw.: 4.VIII.1863, A. Kullhem (H– 4225950).

***Splachnum sphaericum** Hedw.: VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4225955, H–4225957); 4.VIII.1863, A. Kullhem (H–4225956, H–4225954).

***Stereodon pallescens** (Hedw.) Mitt. (*Hypnum pallescens*): 15.VI.1863, A. Kullhem (H–4083297); 28.VI.1863, A. Kullhem (H–4083298).

***Straminergon stramineum** (Dicks. ex Brid.) Hedenäs (*Amblystegium stramineum*): 18.VI.1863, Th. Simming (H–4035245).

***Syntrichia ruralis** (Hedw.) F. Weber & D. Mohr (*Tortula ruralis*): 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4225979).

***Taxiphyllum wissgrillii** (Garov.) Wijk & Margad. (*Isopterygium depressum*): 4.VI.1869, Th. Simming (H–4225984).

***Tetraplodon mnioides** (Hedw.) Bruch et al. (*Tetraplodon bryoides*): 5.VIII.1863, A. Kullhem (H–4225986); 1863, A. Günther (H–4225987).

***Thuidium recognitum** (Hedw.) Lindb.: 6–7. VI.1863, 2.VIII.1863, Th. Simming (H–4225938, H–4225939, H–4225940); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4222647).

***Tomentypnum nitens** (Hedw.) Loeske (*Camptothecium trichoides, Hypnum nitens, Hypnum trichodes*): 6.VI.1863, Th. Simming (H–4225947, H–4225959); 6.VII.1863, Th. Simming (H–4225945); 6.VI.1863, M. Brenner (H–4225943); VI.1869, J. Sahlberg (H–4225951); 23.VI.1898, Liro & Cajander (H–4229041, H–4222657, H–4222658).

***Warnstorfia fluitans** (Hedw.) Loeske (*Hypnum fluitans*): 1863, A. Günther (H–4225952); 1870, J. P. Norrlin (H–4225958); VIII.1870, J. P. Norrlin (H–4060584).

***Warnstorfia tundrae** (Arnell) Loeske: 7.VI.1863, A. Kullhem (H–4225953).

Флора мхов г. Петрозаводска, по материалам Гербария Ботанического музея Университета г. Хельсинки, включает 116 таксонов (112 видов и 4 разновидности), из них 110 таксонов (106 видов и 4 разновидности) выявлено по сборам второй половины XIX века, 5 видов – 1941 года, 1 вид – 1943 года. Часть таксонов (67 видов и 2 разновидности) опубликована [2], [3].

Сравнение современных [1] и полученных гербарных данных по флоре мхов г. Петрозаводска показало немалое сходство. Сборами 1995–2010 годов подтверждено произрастание в городе большинства мхов (73 вида, или 69 %), отмеченных во второй половине XIX века. Повторно найдены 6 видов мхов военных лет (1941,

1943 годы). К числу «неподтвержденных» относится 37 таксонов (33 вида и 4 разновидности, или 31 %). Зная их экологию, можно предположить, что 12 видов (*Schistidium agassizii, Campylium protensum, Drepanocladus sendtneri, Breidleria pratensis, Bryum cyclophyllum, B. intermedium* и др.) обитали по берегам рек и озер, 9 видов (*Kiaeria blytti, Cnestrum schistii, Orthotrichum rupestre, Seligeria campylopoda, Taxiphyllum wissgrillii* и др.) – на скалах, 6 видов (*Hamatocaulis vernicosus, Meesia triquetra, M. uliginosa, Paludella squarrosa, Scorpidium cossonii, Sphagnum aongstroemii*) – на низинных болотах. Такие виды, как *Splachnum ampullaceum, S. luteum, S. sphaericum*, как известно, предпочитают субстрат органического происхождения.

Территория г. Петрозаводска за последние полтора века испытала сильное антропогенное воздействие (рубки леса, мелиорация, пожары, строительство, промышленное производство и др.), что привело к коренным преобразованиям структуры ландшафтов города. Наиболее чувствительными к антропогенному фактору оказались мхи прибрежно-водных и скально-каменистых местообитаний. В настоящее время реки Лососинка и Неглинка, озеро Онежское загрязнены из-за сброса неочищенных стоков. Мхи по берегам рек в черте города (особенно в нижнем течении – у места впадения в Петрозаводскую губу) встречаются нечасто, местами отсутствуют. Не исключено, что некоторые «неподтвержденные» прибрежно-водные виды, особо требовательные к чистоте воды (например, *Schistidium agassizii*), уже исчезли. В северной части города на дневную поверхность выходят коренные породы. Вероятно, здесь (пос. Соломенное) финские ботаники собирали скально-каменистые мхи. «Неподтвержденность» некоторых эпилитных видов можно объяснить в лучшем случае пропуском из-за мелких размеров, в худшем – исчезновением из-за рекреационной нагрузки.

В целом флора мхов г. Петрозаводска, по всем имеющимся данным, насчитывает 210 таксонов (206 видов и 4 разновидности).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Растения и лишайники города Петрозаводска (аннотированные списки видов): Учеб. пособие / Под. ред. Г. С. Антипиной. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 208 с.
2. Ahti T., Boychuk M. The botanical journeys of A. K. Cajander and J. I. Lindroth to Karelia and Onega River in 1898 and 1899, with a list of their bryophyte and lichen collections // Norrlinia. 2006. Vol. 14. P. 1–65.
3. Brotherus V. F. Die Laubmoose Fennoskandias // Flora Fennica. 1923. Vol. 1. P. 1–635.
4. Cajander A. K. Melan Suomen kasvio. Ed. 5 // Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran toimituksia. 1906. 53 (3): 1–764.
5. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. et al. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. 15: 1–130.
6. Botanical and mycological collections (2014). Available at: http://www.luomus.fi/en/node/791

Boychuk M. A., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

MOSSES OF THE CITY OF PETROZAVODSK (BASED ON THE DATA FROM THE BOTANIC GARDEN AND HERBARIUM (H) OF THE UNIVERSITY OF HELSINKI)

In 2009 and 2013, the author discovered 204 moss samples from Petrozavodsk in the Herbarium (H) of the Helsinki University Botanic Garden. The samples werecollected by W. Nylander (1850), A. Kullhem (1860, 1863, 1869), Th. Simming (1862, 1863, 1869), A. Günther (1862, 1863), M. Brenner (1863), Th. Saelan (1865), J. Sahlberg (1869), J. P. Norrlin (1870), F. Elfving (1871), J. I. Liro and A. K. Cajander (1898), U. Perttula (1941), and M. Kotilainen (1943). A list of mosses, consisting of 116 taxa (112 species and 4 varieties), is presented together with the sampling dates, collectors' names and herbarium sample number. Some of the taxa (67 species and 2 varieties) have been published (Brotherus, 1923; Ahti & Boychuk, 2006). Comparison of herbarium and modern data (172 species: Plants and lichens of the city of Petrozavodsk, 2010) in the field of the moss flora of the city (79 common species, or 70 percent) were compared. The mosses in semi-aquatic and rocky habitats were found to be the most sensitive to the human impact. Available data shows that the moss flora of Petrozavodsk consists of 210 taxa (206 species and 4 varieties).

Key words: mosses, samples, city of Petrozavodsk, Herbarium, Helsinki University

REFERENCES

1. *Rasteniya i lishayniki goroda Petrozavodska (annotirovannye spiski vidov)* [Plants and lichens of the Petrozavodsk City]. Petrozavodsk, PSU Publ., 2010. 208 p.
2. Ahti T., Boychuk M. The botanical journeys of A. K. Cajander and J. I. Lindroth to Karelia and Onega River in 1898 and 1899, with a list of their bryophyte and lichen collections // Norrlinia. 2006. Vol. 14. P. 1–65.
3. Brotherus V. F. Die Laubmoose Fennoskandias // Flora Fennica. 1923. Vol. 1. P. 1–635.
4. Cajander A. K. Melan Suomen kasvio. Ed. 5 // Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran toimituksia. 1906. 53 (3): 1–764.
5. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. et al. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006.15: 1–130.
6. Botanical and mycological collections (2014). Available at: http://www.luomus.fi/en/node/791

Поступила в редакцию 08.05.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 616.133.3

ВЛАДИМИР ВЕНИАМИНОВИЧ АХМЕТОВ
кандидат медицинских наук, заведующий отделением сосудистой хирургии, Городская клиническая больница № 20 ДЗМ (Москва, Российская Федерация), докторант кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
aw60@mail.ru

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

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

БЕЛАЛЬ СУЛЕЙМАН АБДАЛЛА АБУАЗАБ
кандидат медицинских наук, ассистент кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
belalka@inbox.ru

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

СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ ЗАВАЛИШИН
ординатор отделения, Городская клиническая больница № 20 ДЗМ (Москва, Российская Федерация), соискатель кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
sezavalishin@mail.com

ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ МАТЮШЕЧКИН
соискатель кафедры общей и факультетской хирургии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
igor_5555555@mail.ru

ИРИНА ВЛАДИМИРОВНА СТАФЕЕВА
кандидат медицинских наук, докторант кафедры неврологии и психиатрии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
istafeeva@inbox.ru

ЭХОГРАФИЧЕСКИЕ И АНГИОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ СОННЫХ АРТЕРИЙ У БОЛЬНЫХ С ПРЕХОДЯЩИМИ НАРУШЕНИЯМИ МОЗГОВОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ*

У 46 пациентов с преходящими нарушениями мозгового кровообращения в бассейне средней мозговой артерии сопоставлены результаты ультразвукового исследования в В-режиме, режиме цветного дуплексного картирования (ЦДК) брахиоцефальных артерий и данные интраоперационной ангиоскопии. Выявлено атеросклеротическое поражение в виде бляшек гомогенной или гетерогенной структуры с пониженной эхо-плотностью и стенозами просвета сосуда до 50–70 %, которые склонны к распаду с образованием эмболов различного размера или распаду всей бляшки. Неровность контура или поверхности бляшки при ультразвуковом исследовании указывает на продолженный постепенный распад бляшки с образованием микроэмболов. Показано, что у больных с малыми стенозами сосудов (до 50 % просвета артерии) и наличием нестабильной рыхлой с дефектами интимы бляшки эмбологенный фактор является одним из ведущих для возникновения и рецидива преходящих нарушений мозгового кровообращения и может быть рассмотрен как показание к срочной эндартерэктомии.

Ключевые слова: церебральный атеросклероз, интраоперационная ангиоскопия, эмболия, каротидная эндартерэктомия

© Ахметов В. В., Дуданов И. П., Азиева А. З., Абуазаб Б. С. А., Теремовский Н. Ю., Завалишин С. Е., Матюшечкин И. В., Стафеева И. В., 2014

ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько лет в многопрофильных стационарах произошли существенные изменения в стандартах обследования больных с ишемией головного мозга. Благодаря прогрессу компьютерной техники значительно улучшилось качество изображения и разрешающая способность ультразвуковых диагностических приборов. Это позволило в некоторых случаях отказаться от ангиографического исследования у таких больных. В соответствии с международными и национальными рекомендациями, полноценного ультразвукового исследования может быть достаточно для уточнения диагноза и определения показаний к оперативному лечению у больных с хроническим ишемическим поражением головного мозга. Ультразвуковые исследования неинвазивны и достаточно информативны для определения структуры, протяженности атеросклеротической бляшки, состояния ее поверхности.

В основе всех имеющихся на сегодняшний день классификаций атеросклеротических бляшек по данным ультразвукового исследования в В-режиме лежит работа L. M. Reilly et al. [8], положившая в основу качественную оценку структуры бляшки с учетом эхогенности и однородности ее вещества и выделившая два вида бляшек – однородные и неоднородные. Авторами отмечено, что однородные бляшки средней и повышенной эхогенности при гистологическом исследовании представлены фиброзным компонентом, в то время как неоднородные бляшки характеризуются наличием внутрибляшечных кровоизлияний, изъязвлений, включений холестерина и кальция, некроза и т. д. A. C. Gray-Weale et al. [6] детализировали классификацию L. M. Reilly et al. и выделили основные ультразвуковые характеристики атеросклеротических бляшек:

1) однородные пониженной эхогенности;
2) неоднородные с преобладанием гипоэхогенных структур;
3) неоднородные с преобладанием гиперэхогенных структур;
4) однородные гиперэхогенные (с наличием участков кальциноза и без него).

Различные классификации, появившиеся в последнее время, в той или иной мере повторяют вышеуказанное деление бляшек, добавляя к ней различные подвиды атеросклеротических бляшек [1], [2], [3], [4], [5], [7], [9]. Существенным недостатком всех классификаций является отсутствие в них описания или оценки поверхности бляшки и возможных образований на ней, существенно влияющих на прогноз.

Нами отмечено, что у ряда больных с преходящими нарушениями мозгового кровообращения (ПНМК) при дуплексном ультразвуковом исследовании выявлены незначительные стенозы сонных артерий (СА) с нарушением ламинарного кровотока, но которые из-за таких стенозов не могли вызвать гемодинамических нарушений в кровоснабжении головного мозга. С другой стороны, детальный анализ УЗДГ указывал на наличие каких-то «дополнительных структур» на поверхности бляшки, которые и могли явиться причиной эмболии мозговых артерий.

С целью уточнения структурных характеристик атеросклеротической бляшки у больных, поступающих в сосудистые центры по срочным показаниям с преходящими нарушениями мозгового кровообращения, сопоставлены результаты ультразвукового исследования в В-режиме, режиме цветного дуплексного картирования и данные интраоперационной ангиоскопии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

У 46 пациентов анализировали данные дуплексного исследования брахиоцефальных артерий и данные интраоперационной ангиоскопии. Все эти больные перенесли ПНМК в бассейне средней мозговой артерии, которое и явилось причиной госпитализации в сосудистый центр. Обследование проводилось по принятым стандартам поступления больных в блок интенсивной терапии и реанимации (БИТР). Ультразвуковые исследования проводили на аппарате Sonoline Omnia (Siemens) в дуплексном режиме датчиком 7,5 МГц. В случаях выявления стенозов просвета общих СА в области бифуркации и в устье внутренней СА в соответствии с национальными и международными рекомендациями определяли показания к эндартерэктомии. Для проведения ангиоскопии использовали стойку для видеоэндоскопических исследований и жесткий эндоскоп minisait диаметром 2 мм фирмы Autosuture. После выделения сонных артерий во время вмешательства накладывали зажимы в самой проксимальной части ОСА, где не определялось визуальных изменений стенки, выполняли артериотомию длиной около 4–5 мм для введения эндоскопа и катетера для отмывания и ирригации просвета артерии. По окончании ангиоскопии больным выполняли эндартерэктомию.

У всех больных при дуплексном исследовании имелись протяженные бляшки во всей ампуле внутренней СА и бифуркации общей СА со стенозом 35–85 % без видимой, или фрагментарно прослеживаемой, покрышки бляшки. У 39 (85 %) больных на покрышке бляшки имелись гипоэхогенные «наложения» над плотной частью бляшки, либо на поверхности бляшки, либо расположенные фрагментарно вдоль бляшки и на стенке артерии. При исследовании в режиме ЦДК отмечено неравномерное или неполное окрашивание вдоль бляшки и в просвете сосуда.

Выделили гомогенные и гетерогенные атеросклеротические бляшки с пониженной и повышенной эхо-плотностью со степенью стеноза просвета сосуда: <50 %, 50–70 % и >70 %. Выделяли следующие ультразвуковые и ангиоскопические критерии поверхности бляшки: ровная,

неровная; критерии оценки покрышки бляшки по УЗДГ-данным: есть на всем протяжении, отсутствует, прерывистая; ангиоскопические данные: интима есть на всем протяжении, интима на бляшке отсутствует, имеются единичные дефекты интимы на поверхности бляшки. Критерии оценки окрашивания бляшки при ЦДК: нет, фрагментарно, на всем протяжении бляшки, наложения на поверхности бляшки. Ангиоскопические критерии покрышки бляшки: нет дефектов, покрышка имеется на всем протяжении бляшки, покрышка прослеживается фрагментарно, наличие наложений на поверхности бляшки (кальций, тромботические массы, фибрин). Наличие флотирующих фрагментов на поверхности бляшки, по данным ангиоскопии: флотирующие фрагменты на поверхности бляшки (тромботические массы, фибрин), флотация проксимального края интимы, подинтимальное кровоизлияние на бляшке или в просвете артерии. Разделение больных по описанным критериям бляшки представлено в табл. 1.

Таблица 1

Ультразвуковые характеристики атеросклеротической бляшки

Структура бляшки				Степень стеноза		
Гомогенная*		Гетерогенная**		< 50 %	50–70 %	> 70 %
< плотность	> плотность	< плотность	> плотность			
14 (30,4 %)	8 (17,5 %)	14 (30,4 %)	10 (21,7 %)	18 (39,2 %)	14 (30,4 %)	14 (30,4 %)

Примечания. * Гомогенная бляшка: < плотности – бляшка с пониженной эхо-плотностью; > плотности – бляшка с повышенной эхо-плотностью.

** Гетерогенная бляшка: < плотности – бляшка с преобладанием мягкого компонента; > плотности – бляшка с преобладанием плотного компонента.

Как представлено в табл. 1, у больных преобладали бляшки с пониженной эхо-плотностью (рис. 1). Количество гомогенных и гетерогенных бляшек было приблизительно одинаковым. По степени стеноза преобладали бляшки со стенозами менее 50 %. Только 30 % бляшек было со стенозом выше 70 % (гемодинамически значимый стеноз). Практически у всех больных, по данным УЗДГ, покрышка бляшки либо отсутствовала (в 26 случаях), либо прослеживалась фрагментарно (в 20 случаях) (рис. 2). По данным ангиоскопии, в 4 случаях покрышка бляшки прослеживалась на всем протяжении, в 4 случаях отсутствовала и в 38 случаях была прерывистой.

Расхождение данных УЗДГ и ангиоскопии в характеристике покрышки бляшки вполне объяснимо. При ангиоскопии виден только поверхностный слой бляшки. У всех 46 больных имелась неровная поверхность бляшки. Данные УЗДГ полностью коррелировали с данными ангиоскопии.

Когда имеются «полированные» тромботические массы или «полированные» распадающиеся массы на поверхности бляшки, при ангиоскопии они выглядят как относительно ровная поверхность. Так же выглядят и дефекты бляшки в виде кратеров. Визуально трудно отличить гладкую поверхность структуры бляшки от распадающейся бляшки. Большую информацию о покрышке бляшки дает УЗДГ-исследование (табл. 2). При ангиоскопии лучше видны различные дефекты поверхности бляшки в виде кратеров, мелких участков изъязвления и т. д.

Таблица 2

Особенности окрашивания при ЦДК или характеристика интимы при ангиоскопии

Дефекты окрашивания при ЦДК	УЗДГ	Ангиоскопия интимы
Фрагментарно	28	34
На всем протяжении бляшки	16	10
Наложения на поверхности бляшки	30	* Всего 38, из них: Т+Ф – 4 Т – 18 Ф – 12 Са – 4

Примечания. * – сокращения: Т+Ф – тромботические массы с фибрином; Ф – фибрин; Т – тромботические массы; Са – кальцинированные образования в просвете артерии.

Как видно из табл. 2, изменения при ЦДК практически полностью совпадают с данными ангиоскопии.

Неравномерное окрашивание при ЦДК указывает на какие-либо дефекты интимы или покрышки бляшки. При ангиоскопии удается дифференцировать характер наложений на поверхности исследуемого объекта.

На ангиоскопии у 34 из 46 больных имелись флотирующие фрагменты в просвете артерии: в 10 случаях наблюдалась флотация проксимального края бляшки, в остальных – на поверхности бляшки присутствовали либо тромботические массы с фибрином (в 10 случаях), либо фибрин (в 8 случаях), либо чаще всего тромботические массы без фибрина (в 16 случаях) (рис. 3). Флотирующие фрагменты были частично или полностью фиксированы на поверхности бляшки. Степень флотации зависела от величины фрагмента. При малом по размерам фрагменте обычно имелась фиксированная часть, при большом – отмечалась флотация верхушки фрагмента. Отмечен также большой процент бляшек, на которых имелась флотация проксимальной части края интимы. Обычно на таких бляшках дополнительных флотирующих фрагментов не наблюдалось.

У 16 больных (34,8 %) выявлено подинтимальное кровоизлияние либо на поверхности бляшки, либо внутрибляшечное кровоизлияние на протяжении ампулы внутренней сонной артерии.

Проведенный анализ атеросклеротического поражения сонных артерий у больных с ПНМК показал следующее. Для таких больных характерно атеросклеротическое поражение за счет атеросклеротических бляшек гомогенной или гетерогенной структуры с пониженной эхо-плотностью и стенозами просвета сосуда до 50–70 %, которые склонны к распаду с образованием

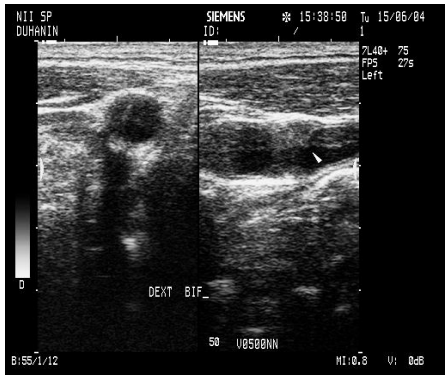
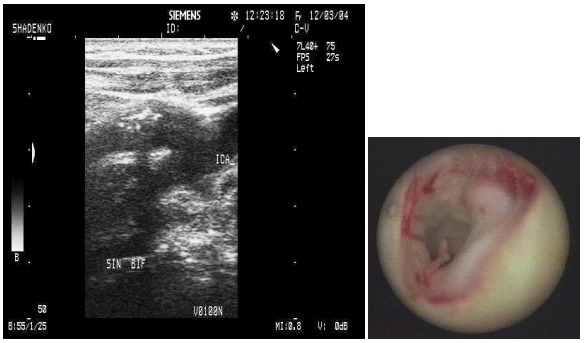
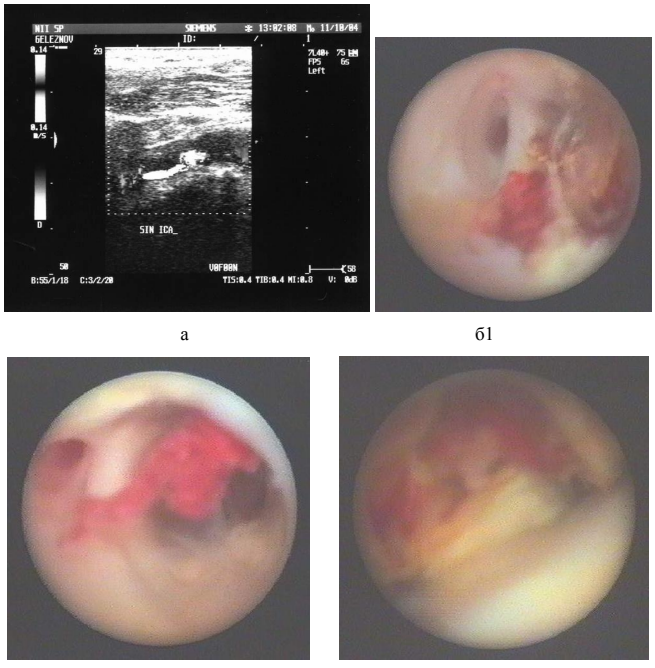


Рис. 1. Эхографическая картина атеросклеротической бляшки с пониженной ультразвуковой плотностью (снимки выполнены в режиме серой шкалы)



а б

Рис. 2. Эхографическая картина атеросклеротической бляшки с фрагментарно прослеженной покрышкой бляшки (режим серой шкалы – а; ангиоскопическая картина этой бляшки – б)



а б1 б2 б3

Рис. 3. Эхографические (а) и ангиоскопические (б1, б2, б3) данные, свидетельствующие о наличии флотирующих фрагментов в просвете артерии

эмболов различного размера или распаду всей бляшки. Неровность контура или поверхности бляшки при УЗДГ указывает на продолженный постепенный распад бляшки с образованием микроэмболов.

Сопоставление данных УЗДГ и ангиоскопии показало, что отсутствие покрышки бляшки или прерывистое ее строение указывают на начало распада этой бляшки. Сочетание таких УЗДГ-признаков, как бляшка с пониженной эхоплотностью, без или с фрагментарной покрышкой, с большой долей вероятности указывает на наличие уплотненных тромботических масс на поверхности плотной части бляшки. Дефект окрашивания при ЦДК на поверхности бляшки может указывать на наличие локальных тромботических масс или фибринозных наложений, которые не видны в серой шкале. Локальные турбулентные потоки над бляшкой с большой долей вероятности отмечаются при флотирующих тромботических или фибринозных массах на поверхности бляшки. При визуализации дефекта в проксимальной части бляшки, особенно с дефектами окрашивания при ЦДК, наблюдаются признаки распада бляшки и возможная флотация края бляшки именно в этой ее части.

Таким образом, при возникновении ПНМК у больных с малыми стенозами сосудов (до 50 % просвета артерии) и наличием нестабильной, рыхлой, с дефектами интимы бляшки, (ангио) эмбологенный фактор в возникновении этого состояния является одним из ведущих как в возникновении, так и в рецидивах острых церебральных катастроф и может быть рассмотрен как показание к срочной эндартерэктомии.

* 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. Гавриленко А. В., Скрылев С. И., Воронов Д. А. Показания к каротидной эндартерэктомии и ее результаты // Вестник РАМН. 2002. № 5. С. 7–12.
2. Гулевская Т. С., Моргунов В. А., Верещагин Н. В. и др. «Симптомные» и «асимптомные» атеросклеротические бляшки внутренней сонной артерии (исследование биоптатов, полученных при операции каротидной эндартерэктомии) // Неврологический журнал. 1999. № 2. С. 12–17.
3. Гулевская Т. С., Моргунов В. А., Ануфриев П. Л. Морфологические особенности сосудов атеросклеротических бляшек синуса внутренней сонной артерии (на материале биоптатов, полученных при каротидной эндартерэктомии) // Архив патологии. 2002. № 6. С. 47–50.
4. Пальцев М. А., Аничков Н. М. Патологическая анатомия. Т. 1. М.: Медицина, 2001. С. 124–126.
5. Abu Rahma A. F., Wulu J. T., Grotty B. Carotid plaque heterogeneity and severity of stenosis // Stroke. 2002. Vol. 33. № 7. P. 1772–1775.
6. Gray-Weale A. C., Graham J. C., Burnett J. R. et al. Carotid artery ateroma: comparison of preoperative B-mode ultrasound appearance with carotid endarterectomy specimen pathology // J. Cardio-vasc. Surg. 1988. Vol. 29. № 6. P. 676–681.
7. Mazzone A. M., Urbani M. P., Picano E. et al. In vivoultrasonic parametric imaging of carotid atherosclerotic plaque by videodensitometric technique // Angiology. 1995. Vol. 46. № 8. P. 663–672.
8. Reilly L. M., Lusby R. J., Hughes L. et al. Carotid plaque histology using real-time ultrasonography: clinical and therapeutic implication // Am. J. Surg. 1983. Vol. 146. № 2. P. 188–193.
9. Schulte-Altedorneburg G., Droste D. W., Haas N. et al. Preoperative B-mode ultrasound plaque appearance compared with carotid endarterectomy specimen histology // Acta Neurol. Scand. 2000. Vol. 101. № 3. P. 188–194.

Akhmetov V. V., City Hospital № 20 (Moscow, Russian Federation), Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Dudanov I. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Azieva A. Z., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Abuazab B. S. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Teremovskiy N. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Zavalishin S. V., City Hospital № 20 (Moscow, Russian Federation), Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Matyushechkin I. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Stafeeva I. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

SONOGRAPHIC AND ANGIOSCOPIC CHARACTERISTICS OF ATHEROSCLEROTIC LESIONS OF THE CAROTID ARTERIES IN PATIENTS WITH TRANSIENT ISCHEMIC ATTACKS

A cross-reference of the ultrasonography results in B-mode, color flow mapping (CFM) of the brachiocephalic arteries and intraoperative angioscopy of 46 patients with transient ischemic attacks in the middle cerebral artery circulation was performed. Atherosclerotic lesions formed as plaques of homogeneous or heterogeneous structure with reduced echolucency and luminal stenosis up to 50–70 percent, prone to degradation with formation of emboli of different sizes, or degradation of the whole plaque, was exposed. Plaque's edge or surface roughness on ultrasound indicates continued gradual degradation with formation of the microemboli. It was revealed, that in patients with minor angiostenoses (up to 50 percent of the artery) and unstable loose plaques with the intima's defect, the embologenic factor is one of the main reasons for emergence and relapse of the transient ischemic attacks, and it can be considered as an indication to urgent endarterectomy.

Key words: cerebral atherosclerosis, intraoperative angioscopy, embolism, carotid endarterectomy

REFERENCES

1. Gavrilenko A. V., Skrylev S. I., Voronov D. A. Indications for carotid endarterectomy and its results [Pokazaniya k karotidnoy endarterektomii i ee rezul'taty]. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk* [Herald of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2002. № 5. P. 7–12.
2. Gulevskaya T. S., Morgunov V. A., Vereshchagin N. V. et al. "Symptomatic" and "asymptomatic" atherosclerotic plaques of the internal carotid artery (biopsies obtained during carotid endarterectomy) ["Simptomnye" i "asimptomnye" ateroskleroticheskie blyashki vnutrenney sonnoy arterii (issledovanie bioptatov, poluchennykh pri operatsii karotidnoy endarterektomii)]. *Nevrologicheskiy zhurnal* [Journal of Neurology]. 1999. № 2. P. 12–17.
3. Gulevskaya T. S., Morgunov V. A., Anufriev P. L. Morphological features of the atherosclerotic plaques' vasculars of the internal carotid artery sinus (based on biopsies obtained during carotid endarterectomy) [Morfologicheskie osobennosti sosudov ateroskleroticheskikh blyashek sinusa vnutrenney sonnoy arterii (na materiale bioptatov, poluchennykh pri karotidnoy endarterektomii)]. *Arkhiv patologii* [Archives of Pathology]. 2002. № 6. P. 47–50.
4. Pal'tsev M. A., Anichkov N. M. *Patologicheskaya anatomiya* [Pathological anatomy]. Vol. 1. Moscow, Meditsina Publ., 2001. P. 124–126.
5. Abu Rahma A. F., Wulu J. T., Grotty B. Carotid plaque heterogeneity and severity of stenosis // Stroke. 2002. Vol. 33. № 7. P. 1772–1775.
6. Gray-Weale A. C., Graham J. C., Burnett J. R. et al. Carotid artery ateroma: comparison of preoperative B-mode ultrasound appearance with carotid endarterectomy specimen pathology // J. Cardio-vasc. Surg. 1988. Vol. 29. № 6. P. 676–681.
7. Mazzone A. M., Urbani M. P., Picano E. et al. In vivoultrasonic parametric imaging of carotid atherosclerotic plaque by videodensitometric technique // Angiology. 1995. Vol. 46. № 8. P. 663–672.
8. Reilly L. M., Lusby R. J., Hughes L. et al. Carotid plaque histology using real-time ultrasonography: clinical and therapeutic implication // Am. J. Surg. 1983. Vol. 146. № 2. P. 188–193.
9. Schulte-Altedorneburg G., Droste D. W., Haas N. et al. Preoperative B-mode ultrasound plaque appearance compared with carotid endarterectomy specimen histology // Acta Neurol. Scand. 2000. Vol. 101. № 3. P. 188–194.

Поступила в редакцию 24.06.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 616.858-008

ЕЛЕНА ГЕННАДЬЕВНА АНТОНЕН
доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры неврологии и психиатрии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
aanto@onego.ru

ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ ХЯНИКЯЙНЕН
кандидат медицинских наук, психиатр-нарколог, Медико-санитарная часть УФСБ России по Республике Карелия (Петрозаводск, Российская Федерация)
hanikainen@yandex.ru

СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КИРСАНЬ
врач-невролог, Медико-санитарная часть УФСБ России по Республике Карелия (Петрозаводск, Российская Федерация)
sergejkirsan@yandex.ru

ЕКАТЕРИНА ГЕННАДЬЕВНА АНЧЕЕВА
врач-невролог, Больница скорой медицинской помощи (Петрозаводск, Российская Федерация)
casatka55@yandex.ru

КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БОЛЕЗНИ ПАРКИНСОНА В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ*

Клинический анализ (n = 140; 1–3-я стадия по M. M. Hoehn, M. D. Yahr, 1967; на фоне адекватного лечения: леводопа, прономан, мидантан) моторных и немоторных феноменов при болезни Паркинсона в Республике Карелия (2009–2013 годы) показал, что дебют заболевания за 0,5–10 лет до появления моторной симптоматики проявляется смешанными немоторными нарушениями: вегетативными (97,9 %; сосудисто-трофическими, мочеполовыми, диспептическими); сенсорными (расстройствами обоняния, болевыми синдромами); когнитивными (35,7 %) – легкого характера (25 %); депрессивными (легкими и средними – 75 %, $p < 0,05$; ухудшающими активную деятельность ($k = -0,6$) и качество жизни ($k = -0,6$)); высоким уровнем личностной тревожности (51,4 %) ($p < 0,05$), влияющей на степень депрессии ($k = 0,7$; $p < 0,001$). Манифестация моторных симптомов начинается с жалоб (за 0,3–0,8 месяца до клиники) на патологическую утомляемость при выполнении обычной физической нагрузки и снижение мышечной силы. Зависимости вегетативных нарушений, аффективных расстройств, моторных нарушений, темпа прогрессирования заболевания от пола, стадии и формы не выявлено ($p > 0,05$). «Положительный семейный анамнез» характерен только для дрожательной формы болезни Паркинсона ($p < 0,001$).

Ключевые слова: болезнь Паркинсона, немоторные, моторные нарушения, семейный анамнез

ВВЕДЕНИЕ

Широкая распространенность (1–15 %), ранняя инвалидизация, отсутствие радикальных методов профилактики и лечения определяют медико-социальную значимость проблемы паркинсонизма [1], [3], [5], [9], [25]. В структуре паркинсонизма выделяют болезнь Паркинсона (БП) [12], [21], наблюдается многообразие симптоматических форм [14], [19], [26] и вариантов паркинсонизма «плюс» [3], [7], [8], что затрудняет своевременную диагностику форм заболевания. Кроме того, гетерогенность клинических форм БП [12], [14], [17; 296], [30] и как следствие разнообразное соотношение активности медиаторных систем мозга [4], [9], [10], [24] формируют всевозможные особенности дебюта и прогрессирования заболевания. Поэтому исследование и систематизация симптомов и синдромов при БП с учетом клинических (моторных, немоторных) синдромов представляется важной и актуальной научной проблемой современной неврологии.

Цель исследования: осуществить клиническую систематизацию моторных и немоторных феноменов болезни Паркинсона, оценить их взаимоотношение друг с другом.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: дать сравнительную клиническую характеристику формам БП, оценить характер и особенности взаимоотношения моторных и немоторных нарушений при БП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основана на клинико-эпидемиологическом анализе 246 наблюдений за больными паркинсонизмом, жителями г. Петрозаводска и районов Республики Карелия, осмотренными на базе кабинета наследственных заболеваний нервной системы при кафедре неврологии и психиатрии ПетрГУ на базе НУЗ ОАО РЖД ОКБ на ст. Петрозаводск в 2009–2013 годах. Выделили три варианта паркинсонизма: идиопатический –

© Антонен Е. Г., Хяникяйнен И. В., Кирсань С. А., Анчеева Е. Г., 2014

болезнь Паркинсона (n = 180; 73,2 %), синдром паркинсонизма (n = 63; 25,6 %) и паркинсонизм «плюс» (n = 3; 1,2 %). В анализируемую группу вошли систематически осматриваемые пациенты с БП (n = 140; преобладали лица с длительностью заболевания от 3 до 10 лет (табл. 1)) на фоне комбинированного адекватного эффективного лечения (агонисты дофамина, леводопа, амантадины). Для объективной количественной оценки выраженности неврологической и психопатологической симптоматики и возможности точной регистрации динамики психических функций применялись оценочные неврологические и психиатрические шкалы. Использовали «Унифицированную рейтинговую шкалу оценки проявлений паркинсонизма» – Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS) [21], контроль за состоянием больного проводили при первом обращении пациента, затем ежемесячно в течение полугода, а в последующем – один раз в квартал. Клиническое исследование нервной системы осуществляли с использованием специальных приемов для выявления скрытого дрожательного гиперкинеза, признаков олигобрадикинезии и повышения мышечного тонуса. Кроме того, использовали шкалу депрессии Гамильтона [23] и мини-тест оценки психического состояния – Mini-Mental State Examination [22], тест рисования часов [28]. Качество жизни больных исследовалось с помощью структурированного опросника «Quality of Life Enjoyment and Satisfaction Questionnaire [20], шкалы повседневной активности [27]. Оценка соматического статуса проводилась с привлечением специалистов (терапевт, окулист, геронтолог, психиатр), клинических (крови, мочи), биохимических показателей анализов крови и мочи, дополнительных методов исследования (рентгенография органов грудной клетки, черепа, шейного отдела позвоночника, ЭНМГ, ЭЭГ, РЭГ, ЭХО-ЭГ, ЭКГ, ЭХО-КС, холтеровское мониторирование, транскраниальная УЗДГ, методы нейровизуализации – СКТ, МРТ головного мозга). Стадию БП оценивали по классификации M. M. Hoehn, M. D. Yahr [24].

Таблица 1

Распределение больных с болезнью Паркинсона по длительности заболевания

Длительность заболевания											
до 1 года		1–2 года		3–4 года		5–10 лет		10–20 лет		> 20 лет	
N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
10	7,1	41	29,3	49	35	23	16,4	11	7,9	6	4,3

У большинства больных БП выявили признаки нарушения мозгового кровообращения (n = 106; 75,7 %), этиологическими факторами которых были: церебральный атеросклероз, гипертоническая болезнь или их сочетание (n = 54, 38,6 %); реже – ишемическая болезнь сердца (острый инфаркт миокарда, кардиомиопатия, кардиосклероз, нарушение сердечного ритма; n = 32; 22,9 %), крайне редко – гипертензионно-гидроцефалический синдром после однократной черепно-мозговой травмы (n = 4; 2,9 %); сахарный диабет II типа (n = 11; 7,9 %); хронические неспецифические заболевания легких (n = 5; 3,6 %), остеохондроз шейного отдела позвоночника с развитием синдрома позвоночной артерии (n = 7; 5 %). Однако симптомы БП предшествовали клинической картине сосудистого заболевания мозга: дисциркуляторной энцефалопатии I–III стадии или ОНМК. Кроме того, на момент появления клиники БП на КТ (МРТ) головного мозга не регистрировали кистозных или рубцовых повреждений мозга. Данные РЭГ, УЗДГ, БЦА выявляли незначительное или умеренное снижение скорости объемного и линейного кровотока в магистральных сосудах головы, шеи, асимметрию сосудистых реакций, разомкнутость Вилизиевого круга, уменьшение кровенаполнения, но без гемодинамически значимых стенозов.

Таким образом, БП и нарушение мозгового кровообращения расценивались нами как самостоятельные заболевания. Необходимо отметить, что при нарастании тяжести сосудистых заболеваний мозга отмечали тенденцию к увеличению скорости прогрессирования БП.

Контрольную группу (КГ; n = 35) составили здоровые лица. Половозрастной состав основной и контрольной групп был однороден ($p > 0,05$). Обработка и статистический анализ результатов исследования проводились на персональном компьютере с помощью пакета программ статистической обработки Microsoft Office Excel 1997–2003, STATISTICA 6.0 StatSoft Inc. (USA) [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди пациентов с БП наибольшую группу наблюдений составили лица мужского пола (n = 90; 64,2 %), преимущественно лица умственного труда. Зависимости между национальной принадлежностью и частотой развития БП не выявили ($p > 0,05$) [1]. Преобладали пациенты пожилого возраста – 53,5 % (средний возраст – 65 ± 4 года) (табл. 2). Среди пациентов с БП выявлены курильщики (n = 18; 12,9 %), а также лица, не употребляющие кофе в пищу (n = 14; 10 %). Преобладали пациенты со 2-й – 18,6 % (46,5 ± 11,4 балла по UPDRS здесь и далее) и 3-й – 17,9 % (69,2 ± 12,8 балла), реже – с 1-й – 12,8 % (21 ± 4,8 балла) и 4-й – 13,6 % (83 ± 15,9 балла), крайне редко – с 5-й – 5 % случаев (106 ± 18,5 балла) стадией БП (табл. 3).

Представляет интерес клиническая характеристика течения БП в Республике Карелия. При проведении клинико-генеалогического анализа прослеживалось в 6 случаях (4,3 %) семейное накопление, в 5 (3,5 %) – распределение заболевания в родословной по «вертикали» и в од-

Таблица 2

Распределение больных с болезнью Паркинсона по полу и возрасту

Пол	Возраст больных с болезнью Паркинсона									
	до 45 лет		45–59 лет		60–74 лет		75–89 лет		Всего	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Мужской	1	0,7	22	15,7	38	27,1	13	9,4	74	52,9
Женский	1	0,7	19	13,6	37	26,4	9	6,4	66	47,1
Всего	2	1,4	41	29,3	75	53,5	22	15,8	140	100

Таблица 3

Распределение больных по стадиям болезни Паркинсона

Число больных	Распределение больных по стадиям болезни Паркинсона							Всего
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	
N	18	24	26	21	25	19	7	140
%	12,8	17,1	18,6	15	17,9	13,6	5	100

ном – по «горизонтали» (0,7 %). Отмечалась тенденция к долгожительству (85–95 лет) у родственников больных (n = 106, 75,7 %). Необходимо отметить, что наличие «положительного семейного анамнеза» было характерно только для дрожательной формы БП ($p < 0,001$) [12]. У лиц с БП выявлялись признаки диспластически-дизрафического статуса (по 2–6 признаков у каждого пациента): низкий рост волос на затылочной области и синофризм (по n = 2, 1,4 %), приросшие мочки ушей (n = 18, 12,9 %), их отсутствие (n = 14, 10 %), эпикант (n = 8, 5,7 %), монголоидный разрез глаз (n = 8, 5,7 %), гипертелоризм (n = 6, 4,3 %), неправильная форма черепа (n = 24, 17,1 %), плоская стопа (n = 3, 2,1 %), длинные руки по отношению к короткому туловищу и кифоз (с детства) (по n = 4, 2,9 %), синдактилия (n = 34, 24,3 %), spina bifida (n = 3, 2,1%), леворукость (n = 8, 5,7 %) [3].

Как показывают наблюдения, паркинсонизм имеет полисистемный характер клинических проявлений поражения нервной системы, сочетая в себе экстрапирамидные нарушения с мозжечковыми, пирамидными, псевдобульбарными расстройствами, ранними изменениями психики и интеллекта [5], [10], [12]. Больные с БП имели экстрапирамидный вариант течения заболевания. При БП облигатным симптомом заболевания (100 %) является акинезия [5]. Больные, в клинической картине которых (на фоне акинезии) и по данным ЭНМГ [2] имел место статический тремор, составили дрожательную форму (Др), ригидность – акинетико-ригидную форму (АкР), при наличии всех трех моторных феноменов – дрожательно-ригидную (ДрР) и ригидно-дрожательную (РДр) формы БП (по преобладанию дрожательного или тонического компонентов). Среди пациентов преобладали лица пожилого и среднего возраста (см. табл. 2) со смешанными формами БП (65,5 %) (см. табл. 4), проявления БП соответствовали 1,5–3-й стадии (n = 114, 81,4 %) (табл. 3).

Первые моторные признаки БП возникали в возрасте 46–74 лет. Дебют моторных симптомов заболевания у всех пациентов проявлялся появлением жалобы на патологическую утомляемость при выполнении обычной двигательной нагрузки (возникающую за 0,3–0,8 месяца) до их клинической манифестации [2]. У 44,3 % пациентов (n = 62) БП дебютировала с появления статического тремора низкой частоты (3–6 Гц) [2], низкой или средней амплитуды, у 87,1 % больных тремор носил преходящий характер, усиливаясь при эмоциональном напряжении. При прогрессировании заболевания тремор принимал сложный тип («счет монет», «скатывание пилюль») – в 65,7 % случаев, чаще правой верхней конечности дистально (62,9 %), затем распространялся по «гемитипу» и после этого приобретал генерализованный постоянный характер, преобладая в дистальных отделах верхних конечностей. Изменялся почерк (выявлялись искаженные «дрожащие» буквы, замедлялась скорость письма). Речь изменялась по типу дизартрии, приобретала «тремарирующий» характер. По мере прогрессирования заболевания (спустя 5–7 лет и более) иногда (n = 25, 17,9 %) присоединялся постуральный тремор, интенционный компонент дрожания.

У 78 больных (55,7 %) начальным моторным симптомом БП была акинезия. Первые жалобы больных этой группы – снижение мышечной

Таблица 4

Распределение больных по клиническим формам болезни Паркинсона и по возрасту

Клинические формы болезни Паркинсона	Возраст больных с болезнью Паркинсона									
	до 45 лет		45–59 лет		60–74 лет		75–89 лет		Всего	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Акинетико-ригидная	–	–	17	12,2	19	13,5	6	4,4	42	30,3
Дрожательная	1	0,7	6	4,3	6	4,3	–	–	13	9,2
Дрожательно-ригидная	1	0,7	9	6,4	19	13,5	7	5	36	25,5
Ригидно-дрожательная	–	–	9	6,4	31	22,2	9	6,4	49	35
Всего	2	1,4	41	29,3	75	53,5	22	15,8	140	100

силы, патологическая утомляемость при выполнении обычной физической нагрузки (за 0,2–0,3 месяца до появления моторных феноменов) [2], боли по ходу позвоночника (чаще в шейном отделе). Акинезия наиболее выражена в мускулатуре головы, мышцах шеи, верхнем плечевом поясе, верхних конечностях. Манифестацией гипокинезии в мышцах лица являлось редкое моргание, в последующем формировалось «застывшее», «маскообразное» выражение лица. Развивались: дисфония, дизартрия, речь становилась медленной, тихой, невнятной, невыразительной, затухающей. При письме выявлялась микрография, скорость письма снижалась. Спустя 0,5–1 год после появления акинезии постепенно нарастали другие моторные симптомы БП, характеризующие повышение мышечного тонуса по пластическому типу (симптом «эластического жгута», «зубчатого колеса») в одной мышце или изолированной группе мышц (антагонисты) [2]. В последующем ригидность приобретала латерализованный «гемитип» (чаще справа), а затем и двусторонний характер с сохранением асимметрии выраженности симптома. С учетом жалобы на снижение мышечной силы проводили ее исследование (клиническое исследование по 6-балльной системе, кистевая динамометрия) – изменений по сравнению с нормальными показателями не выявили, однако при ее исследовании отметили высокую степень пассивного сопротивления. Через 3–5 лет течения БП появлялось нарушение позы и движений: аномальное положение головы, туловища и конечностей. Выявлялась постоянная флексия шейного отдела позвоночника, нарушение движений в области шеи (поворот всем корпусом, а не головой), положительный тест «падения головы», «согбенная поза», флексорная установка конечностей, «паркинсоническая кисть», постуральная асимметрия в руках. Выявляли повышение аксиальных рефлексов и их аксиальную диссоциацию по оси тела. При ходьбе регистрировали эпизоды спонтанных падений, пульсии (антеро-, латеро-, ретро-), затруднения при поворотах, изменялась скорость ходьбы (замедление или реже – ускорение до бега). Появлялась «шаркающая» походка, микробазия (особенно при ходьбе боком, приставными шагами), нарушение «старт»-рефлекса. Исчезали физиологические синкинезии: ахейрокинез, сочетанный поворот головы и глаз в сторону, экстензия кисти при сжатии пальцев в кулак. Появлялся и нарастал статический тремор (низкой, средней амплитуды). Повышение мышечного тонуса и акинезия приводили к полной обездвиженности больного (n = 7, 5%). Парадоксальные кинезии зарегистрированы у одного больного (0,7 %).

Вегетативные нарушения различных систем внутренних органов выявлены в 97,9 % случаев (n = 137), чаще носили смешанный характер [11], [12]. Расстройства сердечно-сосудистой системы (n = 37; 26,4 %) проявлялись ортостатическими головокружениями несистемного характера, приступами сердцебиения, болями в области сердца; мочеполовые расстройства – частым (особенно в ночные часы, n = 27; 19,3 %), затрудненным (n = 5; 3,9 %) мочеиспусканием, острой задержкой мочи (n = 2; 1,4 %), снижением половой функции; недостаточность пищеварительного тракта – упорными запорами (n = 104; 74,3 %) или периодическими поносами (n = 24; 17,1 %), слюнотечением (n = 45; 32,2 %). Отмечалось постепенное снижение массы тела (на 4–17 кг за 0,5–1 год; n = 102; 72,9 %). Пациенты с БП отмечали расстройство обоняния, причем в 45,7 % случаев в виде гипосмии (n = 64) и в 22,9 % (n = 32) – дизосмии. Выявляли: умеренную сальность кожи, себорею, увеличение выделения ушной серы (n = 56; 40 %); сосудисто-трофические расстройства конечностей: дистальный гипергидроз, акроцианоз, артропатии, телеангиоэктазии, отечность дистальных отделов конечностей (n =63; 45 %); вертебральный синдром (n = 69; 49,3 %). Зависимости вегетативных расстройств от пола ($p > 0,05$), их выраженности от стадии и формы заболевания не выявлено ($p > 0,05$). Необходимо отметить, что в 66,4 % случаев (n = 93) дебют БП проявлялся вегетативной дисфункцией одной или нескольких систем, которая возникала задолго (преобладали нарушения обоняния, снижение веса тела, упорные запоры, мочеполовые расстройства) до появления (от 1 года до 10 лет) моторных нарушений.

При БП преобладали когнитивные расстройства (n = 49; 35,7 %) легкого характера (25 %), не отличаясь от КГ ($p > 0,05$) [6], [11], [16]. Так, высшие корковые функции при 1–3-й стадии БП были относительно сохранными, отмечалось негрубое снижение внимания и памяти на текущие события, при 4–5-й стадии (n = 26; 18,6 %) – выраженные нарушения памяти с дезориентацией во времени, пространстве и в собственной личности (n = 7; 5 %). Акайрия отмечалась с начала заболевания. Возникали серьезные трудности в решении обычных бытовых и личностных проблем до неспособности принимать решения и действовать. Психические расстройства средней степени были редки (n = 2; 1,4 %), нарастала деменция [13], появлялись галлюцинации с сохранением критического отношения к ним. Отмечались яркие сновидения (n = 101; 72,1 %). Выявлялись депрессивные расстройства (n = 116; 82,9 %; преобладали легкая и средняя формы – 75 %, $p < 0,05$), которые проявлялись затяжными периодами пониженного настроения или чувством вины: несколько дней (n = 39; 27,8 %), неделю и более (n = 42; 30 %), сочетаясь с бессонницей, похуданием, сужением круга интересов (n = 16; 11,2 %), а у еще 15 больных (10,7 %) – с суицидальными мыслями и действиями (n = 15; 10,7 %). Пассивность выявлялась в 38,6 % случаев (n = 54): потеря интереса в от-

дельных сферах деятельности (n = 27; 19,3 %), к повседневной и обычной деятельности (n = 16; 11,2 %), полная потеря мотивации и инициативы (n = 11; 7,6 %). Нарушение сна и бодрствования проявлялось в инсомнии (n = 13; 9,5 %) или гиперсомнии (n = 12; 8,4 %). Уровень личностной тревожности был высоким и встречался в 51,4 % случаев (n = 68), а уровень реактивной тревожности – незначительно повышен, но выше, чем в контрольной группе ($p < 0,05$). Выявлена зависимость личностной тревожности и степени выраженности тревожной и адинамической депрессии при БП ($k = 0,7$; $p < 0,001$). В 17,1 % случаев (n = 24) БП дебютировала с депрессии [12]. С ростом степени депрессии снижалась активная деятельность ($k = –0,6$) и качество жизни ($k= –0,6$) в 100 % случаев. Зависимости аффективных расстройств и их выраженности от пола, стадии и формы заболевания не выявлено ($p > 0,05$).

В прогрессировании БП выделили несколько вариантов: быстрый (смена стадий проходила за срок менее двух лет; n = 5; 3,6 %), умеренный (от 2 до 5 лет; n = 124; 88,6 %) и медленный (>5 лет; n = 11; 7,9 %) темп, который не зависел от формы заболевания ($p > 0,05$). Продолжительность жизни у больных с БП составила от 1 года до 32 лет. Ни в одном случае смерти пациента БП не зарегистрирована как ее причина.

ВЫВОДЫ

1. Болезнью Паркинсона чаще болеют лица пожилого возраста (53,5 %; средний возраст – 65 ± 4 года), мужчины (64,2 %), занимающиеся интеллектуальной профессиональной деятельностью. Вредные привычки (курение), употребление кофе не являются факторами, исключающими развитие БП (следует учитывать гетерогенность заболевания). БП и нарушение мозгового кровообращения могут одновременно присутствовать у пациента и расцениваться как самостоятельные заболевания. При нарастании тяжести сосудистых заболеваний мозга увеличивается скорость прогрессирования БП. «Положительный семейный анамнез» характерен только для дрожательной формы БП ($p < 0,001$).

2. Дебют болезни Паркинсона проявляется немоторными нарушениями смешанного характера (вегетативные, сенсорные, эмоционально-личностные и др.), которые предшествуют (от 0,5 года до 10 лет) моторной симптоматике заболевания. В структуре вегетативных немоторных расстройств (97,9 %) преобладают сосудисто-трофические, мочеполовые и диспептические. Сенсорные нарушения проявляются расстройством обоняния (68,6 %), болевым синдромом (чаще по типу хронических рецидивирующих болей в спине; 55,7 %). При болезни Паркинсона 1–3-й стадии преобладают: когнитивные расстройства (35,7 %) легкого характера (25 %), не отличаясь от контрольной группы ($p > 0,05$); акайрия (100 %); нарушение сна (72,1 %); депрессивные расстройства (легкой и средней формы – 75 %, $p < 0,05$; с ростом депрессии снижается активная деятельность ($k = –0,6$) и качество жизни ($k = –0,6$) в 100% случаев); большая пассивность (54,3 %); апатия (7,6 %); высокий уровень личностной тревожности (51,4 %) по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$), которая влияет на степень выраженности тревожной и адинамической депрессии ($k = 0,7$; $p < 0,001$). Зависимости вегетативных нарушений, аффективных расстройств от пола, стадии и формы БП не выявлено ($p > 0,05$).

3. Дебют моторных симптомов при БП (100 %) характеризуется появлением жалоб (за 0,3–0,8 месяца до их клинической манифестации) на патологическую утомляемость при выполнении обычной физической нагрузки (при всех синдромологических формах) и снижение мышечной силы (при присоединении к акинезии ригидности; без объективного ее изменения). Моторные расстройства при БП имеют алгоритм прогрессирования (постепенное увеличение объема поражения: моно-, геми-, тетрасиндром; всегда сохраняется асимметрия степени поражения; имеют нисходящий тип распространения). Дрожательный компонент преобладает в верхних конечностях, дистально, в начале БП – периодический, покоя, низкой или средней амплитуды, усиливаясь при эмоциональном напряжении; при прогрессировании – сложный тип («счет монет», «скатывание пилюль»; в 65,7 % случаев), постоянного характера, низкой частоты (3–6 Гц). Спустя 5–7 лет и более течения БП к тремору покоя присоединяется постуральный и/или интенционный компонент дрожания (в 17,9 %). Акинезия преобладает в верхней части тела (мышцах головы, туловища), а ригидность – в проксимальных отделах верхних конечностей, с вовлечением в последующем мышц туловища (передней группы аксиальной мускулатуры).

4. БП – хроническое прогрессирующее заболевание. Зависимости темпа прогрессирования БП от формы заболевания не выявлено ($p > 0,05$). БП не является причиной смерти пациентов.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонен Е. Г. Клинические и эпидемиологические особенности паркинсонизма в Республике Карелия // Медицинский академический журнал. 2005. № 2. Приложение 6. С. 94–96.
2. Антонен Е. Г. Влияние утомления на электромиографические показатели у больных паркинсонизмом до лечения // Вестник Российского университета Дружбы народов. Сер. Медицина. 2002. № 2. С. 39–43.

3. Вейн А. М., Голубев В. Л., Берзиньш Ю. Э. Паркинсонизм. Клиника, этиология, патогенез, лечение. Рига: Зинатне, 1981. 328 с.
4. Виноградова О. С. Нейронаука конца второго тысячелетия: смена парадигм // Журн. высшей нервной деятельности. 2000. Т. 50. Вып. 5. С. 743–763.
5. Голубев В. Л., Левин Я. И., Вейн А. М. Болезнь Паркинсона и синдром паркинсонизма. М.: МЕДпресс, 1999. 416 с.
6. Захаров В. В., Ярославцева Н. В., Яхно Н. Н. Когнитивные нарушения при болезни Паркинсона // Неврологический журнал. 2002. Т. 8. № 2. С. 11–16.
7. Иллариошкин С. Н., Загоровская Т. Б., Иванова-Смоленская И. А., Маркова Е. Д. Генетические аспекты болезни Паркинсона // Неврологический журнал. 2002. Т. 7. № 5. С. 47–51.
8. Иллариошкин С. Н. Конформационные болезни мозга. М.: Янус-К, 2003. 248 с.
9. Каменецкий В. К. Паркинсонизм. СПб.: Питер, 2001. 416 с.
10. Крыжановский Г. Н., Карабань И. Н., Магаева С. В., Кучеряну В. Г., Карабань Н. В. Болезнь Паркинсона (этиология, патогенез, клиника, диагностика, лечение, профилактика). М.: Медицина, 2002. 336 с.
11. Левин О. С., Смоленцева И. Г. Немоторные проявления болезни Паркинсона. М.: Медицина, 2007. 24 с.
12. Левин О. С., Федорова Н. В. Болезнь Паркинсона. М.: МЕДпресс-информ, 2012. 352 с.
13. Левин О. С. Алгоритмы диагностики и лечения деменции. М.: МЕДпресс-информ, 2012. 192 с.
14. Литвиненко И. В. Дифференциальная диагностика болезни Паркинсона и синдромов паркинсонизма // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2003. Вып. 9. № 1. С. 47–52.
15. Литвиненко И. В., Одинак М. М. Патогенетические основы формирования когнитивных и психотических нарушений при болезни Паркинсона // Журн. неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2004. № 4. С. 76–81.
16. Нодель М. Р., Яхно Н. Н. Недвигательные нарушения при болезни Паркинсона и их влияние на качество жизни // Болезнь Паркинсона и расстройства движения: Руководство для врачей по материалам I Национального конгресса. М., 22–23 сентября 2008 г. С. 92–93.
17. Новик А. А., Камилова Т. А., Цыган В. Н. Генетика в клинической медицине: Руководство для врачей. СПб.: ВМедА, 2001. 219 с.
18. Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера, 2002. 312 с.
19. Bhatt M., Desai M. J., Mankodi A. et al. Posttraumatic akinetic-rigid syndrome resembling Parkinson's disease // Mov. Disord. 2000. Vol. 15. № 2. P. 313–317.
20. Edicott J. P., Nee J., Harrison W. et al. Quality of life enjoyment and satisfaction questionnaire: A new measure // Psychopharmacology Burlein. 1997. Vol. 29. № 3. P. 321–326.
21. Fahn S., Libsch L. R., Cutler R. W. Monoamines in the human neostriatum: topographic distribution in normals and in Parkinson's disease and their role in akinesia, rigidity, chorea and tremor // J. Neurol. Sci. 1971. Vol. 14. P. 427–455.
22. Folstein M., Folstein S., McHugh P. Mini-Mental State. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician // J. Psychiatric Research. 1983. Vol. 12. P. 166–169.
23. Hamilton M. A rating scale for depression // J. Neurol., Neurosurg. and Psychiatr. 1960. № 23. P. 56–62.
24. Hoehn M. M., Yahr M. D. Parkinsonism: onset, progression and mortality // Neurology. 1967. Vol. 17. P. 427–442.
25. Kontakos N., Stokes J. Monograph series on aging-related disease: XII. Parkinson`s disease – recent developments and new directions // Chronic. Dis. Can. 1999. Vol. 20. № 2. P. 58–76.
26. Sato K., Ueyama H., Arakawa R., Kumamoto T. et al. A case of welder presenting with parkinsonism after chronic manganese exposure // Rinsho Shinkeigaku. 2000. Vol. 40. № 11. P. 1110–1115.
27. Schwab R. S., England A. C. Jr. Projection techniques for evaluating surgery in Parkinson's disease, pages 152–157 (Table 1, page 153) // Third Syposium on Parkinson's disease, Royal College of Surgeons in Edinburgh, May 20–22, 1968. E. & S. Livingstone Ltd., 1969.
28. Shulman K. I. Clock-drawing: Is it ideal cognitive screening test? // Ing. J. of Geriatric Psychiatry. 2000. Vol. 15. P. 548–561.
29. West A. B., Zimprich A., Lockhart P. J., Farrer M. et al. Refinement of the PARK 3 locus on chromosome 2p13 and the analysis of 14 candidate genes // Eur. J. Genet. 2001. Vol. 9. № 9. P. 659–666.
30. Zhang Y., Dawson V. L., Dawson T. M. Oxidative stress and genetics in the pathogenesis of Parkinson`s disease // Neurobiol. Dis. 2000. Vol. 7. № 4. P. 240–250.

Antonen E. G., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Hyanikyaynen I. V., Medical Clinic of the Federal Security Service Directorate of Russia in the Republic of Karelia (Petrozavodsk, Russian Federation)
Kirsan' S. A., Medical Clinic of the Federal Security Service Directorate of Russia in the Republic of Karelia (Petrozavodsk, Russian Federation)
Ancheeva E. G., Emergency Care Hospital (Petrozavodsk, Russian Federation)

CLINICAL PROFILE OF PARKINSON'S DISEASE IN THE REPUBLIC OF KARELIA

Clinical analysis of motor and non-motor phenomena in Parkinson's disease (n = 140; in the course of the treatment: Levodopa, Pronoran, Midantan) in the Republic of Karelia (2009–2013) showed that the onset of the disease is marked with combined non-motor dysfunctions: vegetative dysfunctions (vascular trophic, genitourinary, and dyspeptic dysfunctions; 97,9 %); sensory dysfunctions (dysosmia, pain syndrome); cognitive dysfunctions (35,7 %); high trait anxiety (51,4 %), which affects ($k = 0,7$, $p < 0,001$) the depression (75 %) what subsequently aggravates patient's activity and quality of life ($k = -0,6$) ($p < 0,05$). Non-motor dysfunctions appear 0,5–10 years before the motor symptoms and signs that start as a "chronic fatigue" (100 %): abnormal fatigue while performing regular physical exercise, and decrease of muscle strength. The relation of vegetative dysfunctions, affective disorders, motor dysfunctions, disease progression rate to the sex, stage and form is not detected ($p > 0,05$). A "positive family history" is typical only for the tremor form of Parkinson's disease ($p < 0,001$).

Key words: Parkinson's disease, non-motor, motor dysfunctions, family medical history

REFERENCES

1. Antonen E. G. Clinical and epidemiological features of Parkinson's disease in the Republic of Karelia [Klinicheskie i epidemiologicheskie osobennosti parkinsonizma v Respublike Kareliya]. *Meditsinskiy akademicheskiy zhurnal* [Academic Medical Journal]. 2005. № 2. Annex 6. P. 94–96.
2. Antonen E. G. The effect of fatigue on the electromyographic parameters in patients with Parkinson's disease before treatment [Vliyanie utomleniya na elektromiograficheskie pokazateli u bol'nykh parkinsonizmom do lecheniya]. *Vestnik Rossiyskogo Universiteta Druzhby narodov. Seriya Meditsina* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series Medicine]. 2002. № 2. P. 39–43.
3. Veyn A. M., Golubev V. L., Berzin'sh Yu. E. *Parkinsonizm. Klinika, etiologiya, patogenez, lechenie* [Parkinsonism. The clinic, etiology, pathogenesis, treatment]. Riga, Zinatne Publ., 1981. 328 p.
4. Vinogradova O. S. Neuroscience in the end of the second millennium: a paradigm shift [Neyronauka kontsa vtorogo tysyacheletiya: smena paradigm]. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti* [Periodical Higher Nervous Activity]. 2000. Vol. 50. № 5. P. 743–763.
5. Golubev V. L., Levin Ya. I., Veyn A. M. *Bolezn' Parkinsona i sindrom parkinsonizma* [Parkinson's disease and parkinsonian syndrome]. Moscow, MEDpress Publ., 1999. 416 p.
6. Zakharov V. V., Yaroslavtseva N. V., Yakhno N. N. Cognitive impairments in Parkinson's disease [Kognitivnye narusheniya pri bolezni Parkinsona]. *Nevrologicheskiy zhurnal* [Neurology journal]. 2002. Vol. 8. № 2. P. 11–16.
7. Illarioshkin S. N., Zagorovskaya T. B., Ivanova-Smolenskaya I. A., Markova E. D. Genetic aspects of Parkinson's disease [Geneticheskie aspekty bolezni Parkinsona]. *Nevrologicheskiy zhurnal* [Neurology journal]. 2002. Vol. 7. № 5. P. 47–51.
8. Illarioshkin S. N. *Konformatsionnye bolezni mozga* [Conformational disease of the brain]. Moscow, Janus-K Publ., 2003. 248 p.
9. Kamenetskiy V. K. *Parkinsonizm* [Parkinsonism]. St. Petersburg, Piter Publ., 2001. 416 p.
10. Kryzhanovskiy G. N., Karaban' I. N., Magaeva S. V., Kucheryanu V. G., Karaban' N. V. *Bolezn' Parkinsona (etiologiya, patogenez, klinika, diagnostika, lechenie, profilaktika)* [Parkinson's disease (etiology, pathogenesis, clinical features, diagnosis, treatment, prevention)]. Moscow, Meditsina Publ., 2002. 336 p.
11. Levin O. S., Smolentseva I. G. *Nemotornye proyavleniya bolezni Parkinsona* [Non-motor manifestations of the Parkinson's disease]. Moscow, Meditsina Publ., 2007. 24 p.
12. Levin O. S., Fedorova N. V. *Bolezn' Parkinsona* [Parkinson's disease]. Moscow, MEDpress-inform Publ., 2012. 352 p.
13. Levin O. S. *Algoritmy diagnostiki i lecheniya dementsii* [Algorithms of diagnostics and treatment of dementia]. Moscow, MEDpress-inform Publ., 2012. 192 p.
14. Litvinenko I. V. Differential diagnostics of Parkinson's disease and Parkinson's syndromes [Differentsial'naya diagnostika bolezni Parkinsona i sindromov parkinsonizma]. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii* [Bulletin of the Russian academy of military medicine]. 2003. Vol. 9. № 1. P. 47–52.
15. Litvinenko I. V., Odinak M. M. Pathogenetic basis of cognitive and psychotic disorders in Parkinson's disease [Patogeneticheskie osnovy formirovaniya kognitivnykh i psikhoticheskikh narusheniy pri bolezni Parkinsona]. *Zhurnal nevrologii i psikhiatrii im. S. S. Korsakova* [Neurology and psychiatry journal. S. S. Korsakov]. 2004. № 4. P. 76–81.
16. Nodel' M. R., Yakhno N. N. Non-motor disorders in Parkinson's disease and their effect on quality of life [Nedvigatel'nye narusheniya pri bolezni Parkinsona i ikh vliyanie na kachestvo zhizni]. *Bolezn' Parkinsona i rasstroystva dvizheniya: Rukovodstvo dlya vrachey po materialam I Natsional'nogo kongressa. M., 22–23 sentyabrya 2008 g.* [Parkinson's disease and movement disorders. A guide for doctors on the materials of the I National Congress. Moscow, 22–23 September 2008]. Moscow, 2008. P. 92–93.
17. Novik A. A., Kamilova T. A., Tsygan V. N. *Genetika v klinicheskoy meditsine: Rukovodstvo dlya vrachey* [Genetics in Clinical Medicine: A Guide for Physicians]. St. Petersburg, VMedA Publ., 2001. 219 p.
18. Rebrova O. Yu. *Statisticheskiy analiz meditsinskikh dannykh. Primenenie paketa prikladnykh programm STATISTICA* [Statistical analysis of medical data. The use of the application package STATISTICA]. Moscow, MediaSfera Publ., 2002. 312 p.
19. Bhatt M., Desai M. J., Mankodi A. et al. Posttraumatic akinetic-rigid syndrome resembling Parkinson's disease // Mov. Disord. 2000. Vol. 15. № 2. P. 313–317.
20. Edicott J. P., Nee J., Harrison W. et al. Quality of life enjoyment and satisfaction questionnaire: A new measure // Psychopharmacology Burlein. 1997. Vol. 29. № 3. P. 321–326.
21. Fahn S., Libsch L. R., Cutler R. W. Monoamines in the human neostriatum: topographic distribution in normals and in Parkinson's disease and their role in akinesia, rigidity, chorea and tremor // J. Neurol. Sci. 1971. Vol. 14. P. 427–455.
22. Folstein M., Folstein S., McHugh P. Mini-Mental State. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician // J. Psychiatric Research. 1983. Vol. 12. P. 166–169.
23. Hamilton M. A rating scale for depression // J. Neurol., Neurosurg. and Psychiatr. 1960. № 23. P. 56–62.
24. Hoehn M. M., Yahr M. D. Parkinsonism: onset, progression and mortality // Neurology. 1967. Vol. 17. P. 427–442.
25. Kontakos N., Stokes J. Monograph series on aging-related disease: XII. Parkinson`s disease – recent developments and new directions // Chronic. Dis. Can. 1999. Vol. 20. № 2. P. 58–76.
26. Sato K., Ueyama H., Arakawa R., Kumamoto T. et al. A case of welder presenting with parkinsonism after chronic manganese exposure // Rinsho Shinkeigaku. 2000. Vol. 40. № 11. P. 1110–1115.
27. Schwab R. S., England A. C. Jr. Projection techniques for evaluating surgery in Parkinson's disease, pages 152–157 (Table 1, page 153) // Third Syposium on Parkinson's disease, Royal College of Surgeons in Edinburgh, May 20–22, 1968. E. & S. Livingstone Ltd., 1969.
28. Shulman K. I. Clock-drawing: Is it ideal cognitive screening test? // Ing. J. of Geriatric Psychiatry. 2000. Vol. 15. P. 548–561.
29. West A. B., Zimprich A., Lockhart P. J., Farrer M. et al. Refinement of the PARK 3 locus on chromosome 2p13 and the analysis of 14 candidate genes // Eur. J. Genet. 2001. Vol. 9. № 9. P. 659–666.
30. Zhang Y., Dawson V. L., Dawson T. M. Oxidative stress and genetics in the pathogenesis of Parkinson`s disease // Neurobiol. Dis. 2000. Vol. 7. № 4. P. 240–250.

Поступила в редакцию 03.10.2013

Декабрь, № 8. Т. 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 616.718.55

ИЛЬЯ ПЕТРОВИЧ ЛОЗОВИК
аспирант кафедры общей и факультетской хирургии, курс травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ilyalozovik@me.com

РУДОЛЬФ ИОНТЕЛЕВИЧ МЕЛЬЦЕР
доктор медицинских наук, профессор кафедры общей и факультетской хирургии, заведующий курсом травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
o-f-surgery@petrsu.ru.

МОЭЗ ФАУЗИ БАРАКАТ
кандидат медицинских наук, главный врач, Центр костно-суставной патологии (Петрозаводск, Российская Федерация)
barakat18@hotmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ «КОСТЬ – ФИКСАТОР»

Для улучшения исходов лечения диафизарных переломов костей голени было произведено биомеханическое исследование качественных характеристик их остеосинтеза. При создании математической модели использовались рентгенограммы и скиаграммы переломов, а также серии томограмм большеберцовой кости (ББК), выполненных с шагом 0,5 мм. Это обеспечило создание качественной модели ББК. Срезы обработаны в системе трехмерного проектирования SolidWorks, сформирована твердотельная 3D-модель [1], [4]. Далее геометрические модели кости и фиксаторов импортировались в систему конечно-элементного моделирования, где проводились расчеты напряженно-деформированного состояния систем. Задача о нагружении системы «большеберцовая кость – фиксатор» решалась в трехмерной постановке. В программном комплексе Ansys решались стационарные уравнения теории упругости в перемещениях Навье – Ламе и выбор математической модели. Разработан алгоритм решения задачи методом конечных элементов.

Ключевые слова: кость – фиксатор, биомеханика, Ansys, SolidWorks, метод конечных элементов

Стремительно растущие требования социума к качеству лечения переломов привели к разработке в течение нескольких последних десятилетий современных оперативных методик, обеспечивающих высокую стабильность фиксации за счет биосовместимости использующихся конструкций, совершенствования технико-технологических характеристик процессов их изготовления, облегчения процесса установки и удаления имплантов после консолидации перелома. Успехи в совершенствовании методик лечения переломов достигнуты в результате накопления клинического опыта и анализа всех стадий лечения с применением методов биомеханики [3].

В ходе поиска дальнейших возможностей улучшения исходов лечения диафизарных переломов костей голени (ДПКГ) было произведено биомеханическое исследование качественных характеристик их остеосинтеза различными способами в зависимости от степени и варианта фрагментации ББК, классификационного типа перелома. Учет анизотропных свойств материала кости, решение контактной задачи теории упругости позволяют представить картину распределения напряжений в элементах послеоперационной системы «кость – фиксирующая конструкция» с высокой степенью достоверности [1], [4]. При создании математической модели использовалась подготовка предварительных моделей с помощью рентгенограмм и скиаграмм переломов, а также серии топограмм ББК, импортируемых с мультиспирального компьютерного томографа фирмы SIEMENS. Компьютерное моделирование с применением метода конечных элементов на основе томограмм (рис. 1), выполненных с шагом 0,5 мм, обеспечило создание качественной модели ББК, подобной биологическому прототипу; кроме этого рассматривалось напряженно-деформированное состояние фиксатора при функциональной нагрузке.

Сложные геометрические модели биологических объектов создавались в системе трехмерного проектирования по результатам данных компьютерной томографии. Срезы в поперечном сечении кости обработаны в системе трехмерного проектирования SolidWorks. На их основе построены плоские сечения, которые объединялись в объемную модель кости. Затем формировалась твердотельная 3D-модель (рис. 2).

Трехмерные геометрические модели фиксирующих устройств строились на основе чертежей и схем с сохранением их конструкционных свойств и размеров (рис. 3).

© Лозовик И. П., Мельцер Р. И., Баракат М. Ф., 2014

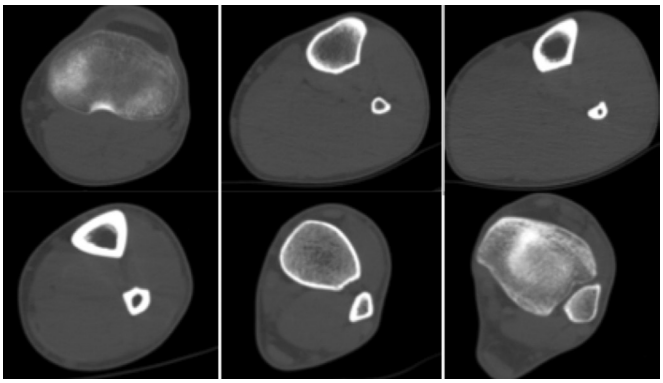


Рис. 1. Томограммы ББК (шаг 0,5 мм)

Рис. 2. 3D-модель большеберцовой кости

Рис. 3. Модель интрамедуллярного фиксатора

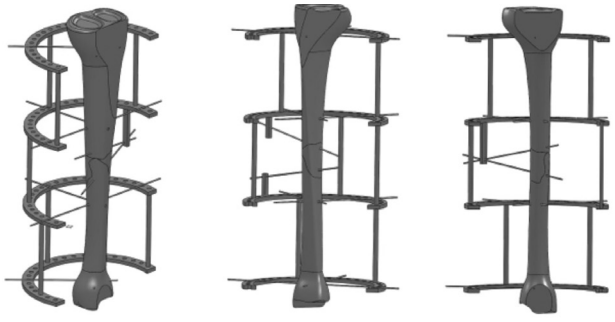


Рис. 4. Модель фиксации ДПКГ аппаратом Г. А. Илизарова (во фронтальном разрезе)

Далее геометрические модели кости и фиксаторов импортировались в систему конечно-элементного моделирования, где и проводились расчеты напряженно-деформированного состояния систем (рис. 4).

Задача о нагружении системы «большеберцовая кость – фиксатор» решалась в трехмерной постановке. В программном комплексе Ansys решались стационарные уравнения теории упругости в перемещениях Навье – Ламе [2]. Нижний торец кости жестко закреплялся, а к верхнему концу (суставная площадка проксимального эпифиза большеберцовой кости) прикладывалась осевая нагрузка, определенная для удобства расчетов в 450 Ньютон (Н). Между элементами фиксатора (аппарат Илизарова, интрамедуллярный гвоздь) и костными отломками ставились условия контакта с трением. Коэффициент трения составлял 0,55. Механические свойства фиксаторов задавались на основе технических данных изготовите-

ля. Механические свойства кости задавались на основе литературных данных. Материал кости и фиксаторов предполагался изотропным идеально-упругим.

Таким образом, алгоритм решения задачи методом конечных элементов состоит из следующих шагов:

1. Выбор математической модели. Это означает, что необходимо выбрать соответствующий конечный элемент или задать дифференциальные уравнения, описывающие исследуемый процесс;
2. Создание или импорт геометрической модели;
3. Задание свойств материалов, граничных и начальных условий, параметров решателя;
4. Разбиение модели на конечно-элементную сетку;
5. Решение задачи;
6. Визуализация и обработка полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК-Пресс, 2010. 464 с.
2. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. М.: ДМК Пресс, 2006. 240 с.
3. Боровков А. И., Бурдаков С. Ф., Клявин О. И., Мельникова М. П., Михайлов А. С., Немов В. А., Пальмов В. А., Силина Е. Н. Компьютерный инжиниринг: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 93 с.
4. SolidWorks 2010: Основные элементы SolidWorks: Учеб. пособие. США, штат Массачусетс, Dassault Systems SolidWorks Corporation, 2009. 550 с.

Lozovik I. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Mel'tser R. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Barakat M. F., Center for Osteoarticular Pathology (Petrozavodsk, Russian Federation)

AN ALGORITHM DESIGN FOR SOLVING PROBLEMS BY THE FINITE ELEMENT METHOD TO CREATE THE "BONE – FIXATOR" MATHEMATICAL MODEL

To improve the outcomes of shaft tibia fractures' treatment, a biomechanical research of the quality features of the tibia osteosynthesis was performed. When creating a mathematical model, radiographs and skiagrams of the fractures, as well as series of tibia tomograms, made with 0,5 mm slice spacing, were used. This ensured a high-quality model of the tibia. Slices are processed in the SolidWorks 3D design, 3D solid model was created. Hereafter, a geometric model of the bone and fixators were imported into the system of the Finite Element modeling that calculated the stress-strain state of the systems. The problem of loading of the "tibia – fixator" system was solved in 3D setting. The software system Ansys performed solving of the stationary equations of the theory of elasticity in Navier-Lame displacements and selection of a mathematical model. An algorithm for solving the problem by the Finite Element method is suggested in the article.

Key words: bone – fixator, biomechanics, ANSYS, Solidworks, finite element method

REFERENCES

1. Alyamovskiy A. A. *Inzhenernye raschety v SolidWorks Simulation* [Engineering calculations in SolidWorks Simulation]. Moscow, DMK-Press Publ., 2010. 464 p.
2. Basov K. A. *ANSYS i LMS Virtual Lab. Geometricheskoe modelirovanie* [ANSYS and LMS Virtual Lab. Geometric modeling]. Moscow, DMK-Press Publ., 2006. 240 p.
3. Borovkov A. I., Burdakov S. F., Klyavin O. I., Mel'nikova M. P., Mikhaylov A. S., Nemov V. A., Pal'mov V. A., Silina E. N. *Komp'yuternyy inzhiniring: Analiticheskiy obzor: Uchebnoe posobie* [Computer engineering. Analytical review – Tutorial]. St. Petersburg, Politechnic univ. Publ., 2012. 93 p.
4. *SolidWorks 2010: Osnovnye elementy SolidWorks: Uchebnoe posobie* [SolidWorks 2010: The main elements of SolidWorks. Tutorial]. USA, Massach. Dassault Systems SolidWorks Corporation, 2009. 550 p.

Поступила в редакцию 27.08.2013

Декабрь, № 8. Т. 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 616.33–002.44:616.342–002

НАДЕЖДА АЛЕКСАНДРОВНА НИКИФОРОВА
аспирант кафедры семейной медицины, общественного здоровья, организации здравоохранения, безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ndorshakova@mail.ru

ТАТЬЯНА АЛЕКСЕЕВНА КАРАПЕТЯН
доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры семейной медицины, общественного здоровья, организации здравоохранения, безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
kara@karelia.ru

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ДОРШАКОВА
доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой семейной медицины, общественного здоровья, организации здравоохранения, безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ndorshakova@mail.ru

ОЦЕНКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЯЗВЕННОЙ БОЛЕЗНЬЮ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ*

Проблема язвенной болезни (ЯБ) является одной из наиболее актуальных в гастроэнтерологии. Несмотря на современные достижения терапии, это заболевание не поддается окончательному излечению. В статье приведены результаты эпидемиологических исследований ЯБ желудка и двенадцатиперстной кишки в Республике Карелия (РК) в период с 2000 по 2012 год. Показано, что республика является неблагоприятным регионом по заболеваемости язвенной болезнью, уровень которой превышает средние показатели по России. Первичная заболеваемость ЯБ населения в Карелии остается высокой, а это означает, что ежегодно в регионе выявляется большое количество новых случаев ЯБ желудка и двенадцатиперстной кишки, а отсутствие снижения показателей общей заболеваемости свидетельствует о часто рецидивирующем течении патологии.

Ключевые слова: язвенная болезнь, Карелия, заболеваемость

В настоящее время исследователями все большее внимание уделяется изучению влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на организм человека и их роли в возникновении и развитии различных заболеваний, включая язвенную болезнь. Это приобретает особое значение для северных территорий, где условия жизни населения отличаются высокой суровостью, что повышает требования к организму [15; 98].

Север является своеобразной климатогеографической зоной, где человек испытывает неблагоприятное воздействие совокупности факторов, среди которых – природные и антропогенные. Это может привести к развитию нарушений функционирования основных физиологических систем организма и формированию патологии [16; 3]. Вот почему изучение особенностей развития заболеваний на Севере представляет особый научный и практический интерес.

Большие территории Севера различаются весьма существенно, поэтому располагающиеся в европейской части России северные регионы получили название Европейский Север. К нему относятся площади таких субъектов Российской Федерации, как Мурманская, Архангельская и Вологодская области, Республика Карелия, Республика Коми и Ненецкий автономный округ. Здесь на 1,6 млн км^2 проживает около 5 млн человек, что свидетельствует о большей степени освоенности по сравнению с другими северными регионами [9; 141].

РК расположена на Северо-Западе РФ и является одним из регионов Европейского Севера России. В ее состав входят 18 административно-территориальных единиц, в том числе 2 городских округа, 16 муниципальных районов, 22 городских и 87 сельских поселений. В Карелии, по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Карелия, численность постоянного населения на 01.01.2013 составила 636,9 тыс. человек. Своей северной частью Карелия располагается в районе Крайнего Севера, южная же ее часть приравнивается к данным районам. РК имеет ряд клима-

© Никифорова Н. А., Карапетян Т. А., Доршакова Н. В., 2014

тоэкологических особенностей (характер геомагнитных возмущений, резкие температурные колебания среды, сезонные изменения светлого и темного времени суток и др.), способствующих напряжению регуляторных механизмов и, следовательно, развитию заболеваний человека [3; 38].

Известно, что в суровых климатических условиях многие заболевания характеризуются ранним началом, неспецифичностью симптоматики, большей распространенностью нарушения функционального состояния организма. Имеет место ранняя хронизация воспалительных заболеваний инфекционной этиологии [5; 26], в том числе и по причине микробной антигенемии на фоне дисбаланса клеточного и гуморального иммунитета, довольно быстрое развитие их осложнений по сравнению с другими климатическими зонами [4; 95]. Изучение течения ряда хронических заболеваний (дыхательной, сердечно-сосудистой, пищеварительной и других систем) у человека на Севере позволило предположить, что основным патогенетическим механизмом возникновения и развития заболеваний в этих условиях является синдром полярного напряжения [8; 6]. Комплекс дискомфортных геофизических и климатических факторов по сути является хроническим экологически обусловленным стрессом, оказывающим негативное влияние на человека в высоких широтах, что и приводит организм в особое физиологическое состояние специфического напряжения [4; 95]. В синдромокомплексе полярного напряжения выделяют следующие основные составные части, делающие общую картину более четкой и, что крайне важно, дающие возможность предполагать развитие тех или иных заболеваний с большой вероятностью: синдром гиперфункции внешнего дыхания, иммунной недостаточности, липидной пероксидации, полиэндокринопатии, полярный метаболический синдром, синдром десинхроноза, метеозависимости, психоэмоционального напряжения, эндемичные макро- и микроэлементозы и др.

Большинство патологических процессов в приполярных регионах развивается в результате прогрессирующей регенераторно-пластической недостаточности, при формировании которой организм становится открытым для проникновения микроорганизмов, ксенобиотиков и прочих патогенных факторов, что в условиях сложившихся регуляторных механизмов может оказаться непреодолимым.

В неблагоприятном климате северных регионов отмечается снижение порога вредного воздействия антропогенно-экологических факторов на организм человека и уменьшение его функциональных возможностей для восстановления нарушений гомеостаза, вызванных этими факторами. Повышенный уровень геофизически обусловленного негативного психоэмоционального напряжения у населения на Севере на фоне существующего социального стресса ухудшает качество жизни и становится фактором риска прогрессирования патологических расстройств со стороны различных систем организма – нервной, дыхательной, эндокринной, сердечно-сосудистой и, безусловно, пищеварительной [14; 35].

В Российской Федерации болезни желудочно-кишечного тракта в целом занимают 8-е место среди всех причин временной нетрудоспособности, 7-е – в структуре причин первичного выхода на инвалидность и 5-е – среди причин смертности населения [7; 50].

Проблема ЯБ продолжает оставаться одной из актуальных в гастроэнтерологии, несмотря на результаты проведенных многочисленных исследований, посвященных данному заболеванию [1], [2], [6; 12]. На сегодняшний день этой патологией страдает около 7–10 % взрослого населения в мире [12; 122].

Важным этиологическим фактором в развитии язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки (ДПК) является хеликобактериоз. Известно, что в России инфицированность взрослого населения H. pylori (HP) чрезвычайно высока и колеблется в зависимости от региона проживания от 70 до 92 % [10]. Инфицированность HP населения северных регионов планеты также является весьма высокой. Это подтверждают исследования В. В. Цуканова, в которых инфекция HP диагностировалась с высокой частотой в районах Восточной Сибири: у 83,7 % монголоидов и 69,2 % европеоидов на юге и у 92,2 % монголоидов и 100 % европеоидов на севере [17; 109]. Кроме того, антитела к HP обнаруживались у инуитов Канады и Гренландии, эскимосов Аляски с частотой от 61 до 95 % [19; 668]. Но хеликобактериоз – не единственный этиологический фактор в развитии ЯБ: при наличии у многих людей обсемененности HP слизистой оболочки желудка вероятность возникновения язвы желудка возможна лишь у 10–15 % из них [2].

ЯБ желудка и ДПК относится к индикаторной патологии жителей северных территорий [13], [18]. При сравнении эпидемиологических данных по регионам Европейского Севера самым неблагоприятным регионом с наиболее высокой заболеваемостью ЯБ является РК.

Нами была проанализирована общая и первичная заболеваемость населения разных возрастных групп ЯБ желудка и ДПК в РК и ее районах за период с 2000 по 2012 год. При оценке общей заболеваемости ЯБ желудка и ДПК всего населения Карелии на 1000 человек за период с 2000 по 2012 год можно отметить стабильно высокие показатели без выраженной тенденции к снижению, превышающие таковые по России и Северо-Западному федеральному округу (СЗФО) в 1,5–2 раза (табл. 1). Уровень общей заболеваемости ЯБ всего населения России в период с 2000 по 2012 год находился в пределах 9,6–12,1 ‰, а по Северо-Западному федеральному окру-

Таблица 1

Динамика общей заболеваемости язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки разных возрастных групп населения в Республике Карелия, Северо-Западном федеральном округе и Российской Федерации (‰)

Год	Общая заболеваемость всего населения			Общая заболеваемость взрослого населения			Общая заболеваемость детей (0–14 лет)			Общая заболеваемость подростков (15–17 лет)		
	РК	СЗ ФО	РФ	РК	СЗ ФО	РФ	РК	СЗ ФО	РФ	РК	СЗ ФО	РФ
2000	17,5	12,3	12,1	22,9	14,0	14,0	2,2	0,8	0,8	6,6	5,3	4,4
2001	19,0	12,2	12,0	23,6	13,8	13,3	2,7	0,7	0,7	6,8	5,4	4,3
2002	19,3	11,9	11,6	23,6	11,8	12,0	3,3	0,8	0,7	6,6	5,1	4,2
2003	19,5	12,3	12,0	25,1	12,0	12,3	1,9	0,7	0,6	10,5	5,5	4,5
2004	20,1	12,1	11,4	24,5	14,0	14,0	1,7	0,7	0,6	10,6	6,6	4,4
2005	19,8	12,4	12,1	23,9	14,7	14,7	1,6	0,9	0,8	10,6	7,8	4,3
2006	19,4	12,3	12,0	23,4	14,4	14,5	1,5	0,8	0,7	8,7	5,9	4,2
2007	19,0	11,9	11,6	22,5	14,0	14,0	1,8	0,8	0,7	9,6	5.7	4,4
2008	19,2	10,4	10,4	22,8	13,3	13,5	1,5	0,7	0,7	8,7	5,5	4,3
2009	18,7	11,2	11,0	22,2	13,1	13,1	1,5	0,7	0,6	7,6	5,7	4,2
2010	17,5	10,3	10,5	20,8	12,0	12,6	1,3	1,0	0,6	6,9	5,6	4,5
2011	19,2	9,3	10,1	23,0	10,9	12,1	1,1	0,6	0,6	6,8	5,5	4,5
2012	17,8	8,4	9,6	21,3	10,0	11,5	1,1	0,6	0,5	7,2	5,2	4,2

гу – 8,4–12,4‰, тогда как в Карелии он никогда не опускался до этих значений.

В республике наиболее высокий уровень общей заболеваемости на 1000 человек всего населения был отмечен в Прионежском (от 22,5 до 28,2‰), Калевальском (от 19,8 до 25,9‰) и Кондопожском (от 24,0 до 32,9‰) районах, причем только в последнем появилась тенденция к ее снижению начиная с 2006 года. Следует отметить высокие показатели и рост уровня общей заболеваемости взрослого населения (старше 18 лет) с 2000 по 2012 год на данных территориях: в пределах 15,1–34,0; 9,8–40,3; 14,9–31,0‰ в Прионежском, Кондопожском и Калевальском районах соответственно. Самой низкой общая заболеваемость всего населения ЯБ в 2000–2012 годах была в Кемском районе, кроме того, показатели заболеваемости в данном районе снизились с 7,3 до 3,0‰. В целом в 14 из 16 районах Карелии общая заболеваемость всего населения превышала среднероссийскую.

Общая заболеваемость ЯБ взрослого населения (18 лет и старше) в среднем по Карелии в период с 2000 по 2012 год колебалась от 20,8 до 25,1‰, а наиболее высокий ее уровень был отмечен в 2003 году. В России и СЗФО общая заболеваемости ЯБ взрослого населения в 2000–2012 годах была существенно ниже и находилась в пределах 12,1–14,7‰, а в СЗФО – 10,9–14,7‰.

Чаще ЯБ выявляется в возрастном периоде 25–40 лет, однако в последние десятилетия отмечается омоложение заболевания [20; 273].

Уровень общей заболеваемости ЯБ желудка и ДПК в РК на 1000 человек детского населения (от 0 до 14 лет) и подростков (от 15 до 17 лет) в период с 2000 по 2012 год снижался у детей начиная с 2003 года с 3,3 до 1,1‰, а у подростков начиная с 2005 года – с 10,6 до 7,2‰. Несмотря на это заболеваемость ЯБ в РК как детей, так и подростков в изучаемый временной период превышала среднюю по РФ и СЗФО в 1,5–2 раза. Самые высокие показатели общей заболеваемости детей и подростков с 2000 по 2012 год регистрировались в г. Петрозаводске (1,6–7,9‰ среди детского населения и 8,4–18,0‰ среди подростков), однако в динамике наблюдалась тенденция к их снижению. Можно отметить ухудшение ситуации в таких территориях республики, как г. Костомукша и Сегежский район, где в 2011 и 2012 годах общая заболеваемость ЯБ у подростков возросла и составила соответственно 14,3 и 10,3‰ и 12,1 и 18,7‰. Уровень общей заболеваемости ЯБ в среднем по РФ и СЗФО на 1000 человек в период с 2000 по 2012 год у детей был примерно одинаковый: в России – 0,6–0,8‰, на Северо-Западе – 0,6–0,9‰, а у подростков – 4,2–4,5‰ и 5,2–5,5‰ соответственно.

При оценке первичной заболеваемости ЯБ желудка и ДПК всего населения в РК на 1000 человек за период с 2000 по 2012 год можно отметить стабильно высокие показатели (от 1,4 до 2,3‰), которые в 1,5–2 раза выше средних показателей по РФ и СЗФО (табл. 2). Кроме того, обращает на себя внимание тенденция к росту первичной заболеваемости ЯБ в среднем по Карелии с 2008 года. Увеличение первичной заболеваемости всего населения ЯБ в период с 2000 по 2012 год происходило на таких территориях республики, как г. Костомукша (от 0,7 до 5,1‰), Олонецкий (от 1,7 до 3,2‰) и Суоярвский (от 1,5 до 3,5‰) районы. Уровень первичной заболеваемости взрослого населения (старше 18 лет) в Суоярвском, Олонецком районе и г. Костомукше в 2000–2012 годах также вырос и составил 1,7–4,3; 2,0–3,9; 0,6–5,9‰ соответственно. В целом в 14 из 16 районах Карелии первичная заболеваемость всего населения превышала среднероссийскую.

Таблица 2

Динамика первичной заболеваемости язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки разных возрастных групп населения в Республике Карелия, Северо-Западном федеральном округе и Российской Федерации (‰)

Год	Первичная заболеваемость всего населения			Первичная заболеваемость взрослого населения			Первичная заболеваемость детей (0–14 лет)			Первичная заболеваемость подростков (15–17 лет)		
	РК	СЗ ФО	РФ	РК	СЗ ФО	РФ	РК	СЗ ФО	РФ	РК	СЗ ФО	РФ
2000	1,9	1,1	1,1	2,5	1,2	1,2	0.5	0,2	0,2	2,0	1,3	0,9
2001	1,8	1,1	1,1	2,2	1,2	1,3	0,4	0,2	0,2	2,1	1,5	1,1
2002	1,9	1,1	1,1	2,2	1,2	1,2	0,5	0,2	0,2	2,3	1,4	1,0
2003	1,8	1,1	1,1	2,1	1,1	1,2	0,5	0,2	0,2	2,3	1,6	1,1
2004	1,7	1,0	1,0	1,9	1,2	1,2	0,4	0,2	0,2	2,2	1,4	1,1
2005	1,4	1,1	1,1	1,6	1,2	1,2	0,5	0,3	0,2	1,9	1,3	1,0
2006	1,6	1,1	1,1	1,8	1,2	1,3	0,3	0,2	0,2	1,7	1,5	1,1
2007	1,5	1,1	1,1	1,7	1,2	1,2	0,5	0,2	0,2	2,0	1,4	1,1
2008	1,5	1,1	1,1	1,7	1,2	1,2	0,4	0,2	0,2	1,5	1,5	1,1
2009	1,7	1,0	1,0	2,0	1,1	1,2	0,3	0,2	0,2	1,8	1,3	1,1
2010	1,8	1,0	1,0	2,1	1,1	1,1	0,3	0,2	0,2	1,6	1,4	1,1
2011	2,3	0,9	1,0	2,7	1,1	1,0	0,2	0,2	0,2	1,6	1,5	1,1
2012	2,0	0,9	0,9	2,2	0,9	1,0	0,4	0,2	0,1	2,7	1,3	1,0

Первичная заболеваемость ЯБ взрослого населения (18 лет и старше) по Карелии в период с 2000 по 2012 год составляла от 1,6 до 2,7 ‰ (с тенденцией к росту с 2008 года), что также выше средних показателей по РФ и СЗФО, где в это время уровень первичной заболеваемости не превышал 1,2 ‰. В ряде территорий республики первичная заболеваемость взрослого населения увеличилась в 2012 году по отношению к 2011 году очень значительно (Суоярвский, Сегежский, Пудожский, Пряжинский, Прионежский, Олонецкий и Медвежьегорский районы); так, в Суоярвском районе уровень первичной заболеваемости взрослого населения вырос более чем в 2 раза, достигнув 4,3 ‰.

Показатели первичной заболеваемости ЯБ желудка и ДПК в РК на 1000 человек детского населения (от 0 до 14 лет) в период с 2000 по 2012 год колебались в пределах 0,2–0,5 ‰ при одинаковых средних значениях таковых в РФ и СЗФО в 0,2 ‰. В этой возрастной группе наиболее высокий уровень первичной заболеваемости среди районов Карелии был в г. Петрозаводске, однако в динамике происходило улучшение ситуации и снижение заболеваемости с 2005 года с 0,9 до 0,3–0,5 ‰.

Максимальный и не имеющий тенденции к снижению уровень первичной заболеваемости у подростков (от 15 до 17 лет) в изучаемый период также был в г. Петрозаводске (в пределах 1,1–3,1 ‰), при этом самая высокая заболеваемость была зафиксирована в 2012 году. Необходимо отметить, что в целом по Карелии первичная заболеваемость ЯБ у подростков в 2000–2012 годах составляла от 1,5 до 2,7 ‰, что превышало таковую по РФ и СЗФО в 1,5–2,5 раза. В период с 2000 по 2012 год в РФ и СЗФО наметилась тенденция к снижению первичной заболеваемости во всех возрастных группах населения.

Заболевания ЖКТ – индикаторная патология жителей Севера: как общая, так и первичная заболеваемость населения в РК в течение 13 последних лет превышала среднероссийский уровень в 1,4–2,1 раза, а в структуре смертности населения болезни органов пищеварения стабильно занимают 5-е место с удельным весом 4,6–7,0 % без тенденции к снижению.

В РК отмечается увеличение первичной заболеваемости взрослого населения и всего населения в целом ЯБ желудка и ДПК, а это означает, что ежегодно выявляется большое количество новых случаев заболевания и в динамике число этих случаев возрастает. Стабильно высокие показатели общей заболеваемости и отсутствие их снижения свидетельствуют о часто рецидивирующем течении патологии.

* Исследование поддерживается РГНФ, проект № 13–06–00414.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валенкевич Л. Н., Яхонтова О. И. Болезни органов пищеварения: Руководство по гастроэнтерологии для врачей. СПб.: ДЕАН, 2006. 656 с.
2. Васильев Ю. В. Патогенетические аспекты терапии язвенной болезни // Русский медицинский журнал. 2011. Т. 19. № 28. С. 1761–1765.
3. Доршакова Н. В., Карапетян Т. А., Жестяников А. Л. Некоторые особенности микроэлементного статуса у проживающих в Карелии больных нейроциркуляторной дистонией // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2004. № 3. С. 38.

4. Доршакова Н. В., Карапетян Т. А., Жестяников А. Л., Никитина К. А. Реализация роли экологических факторов в процессе развития патологии и старения человека, живущего на севере // Сборник научных трудов II Российского симпозиума «Световой режим, старение и рак». Петрозаводск, 17–19.10.2013. Петрозаводск, 2013. С. 95–101.
5. Дуданова О. П. Генотипическая характеристика HBV-инфекции в Карелии // Медицинский академический журнал. 2005. № 2. Приложение № 6. С. 26–31.
6. Жернакова Н. И., Медведев Д. С. Клинико-эпидемиологические особенности течения язвенной болезни в различных возрастных группах // Научные ведомости. Сер. Медицина. Фармация. 2010. Т. 10. № 81. С. 12–16.
7. Жигалова Н. И., Саркисов К. А. Медицинская экспертиза при язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки // Заместитель главного врача. 2007. Т. 8. № 15. С. 50–57.
8. Казначеев В. П. Современные проблемы синтетической экологии: «Синдром полярного напряжения» // Бюллетень СО РАМН. Сибирское отделение. 1997. № 1. С. 6–10.
9. Карапетян Т. А., Доршакова Н. В., Никифорова Н. А. О необходимости изучения формирования патологии на северных территориях // Сборник научных трудов II Российского симпозиума «Световой режим, старение и рак». Петрозаводск, 17–19.10.2013. Петрозаводск, 2013. С. 141–148.
10. Комаров Ф. И., Рапопорт С. И. Хронобиология и хрономедицина. М.: Триада-Х, 2000. 488 с.
11. Лазебник Л. Б. Эпидемиология язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки // Терапевтический архив. 2007. Т. 79. № 2. С. 12–15.
12. Николаев Ю. А., Пальцев А. И., Кузнецова Т. В. Особенности клинического течения заболеваний органов пищеварения у пришлого населения на севере // Бюллетень СО РАМН. 2006. Т. 3. № 121. С. 122–125.
13. Оганезова И. А. Клинические и психофизиологические аспекты течения язвенной болезни в экстремальных условиях среды: Автореф. дисс. … д-ра мед. наук. Архангельск, 2005. 23 с.
14. Рутгайзер Я. М., Михайлов А. Г. Возможности оценки качества жизни больных в гастроэнтерологической практике // Клиническая медицина. 1999. Т. 77. № 3. С. 35–38.
15. Савченко А. А., Манчук В. Т. Метаболический механизм развития иммунной недостаточности при адаптации в условиях крайнего Севера // Бюллетень СО РАМН. 2003. Т. 2. № 108. С. 98–101.
16. Хаснулин В. И., Хаснулин П. В. Современные представления о механизмах формирования северного стресса у человека в высоких широтах // Экология человека. Новосибирск. 2012. № 1. С. 3–11.
17. Цуканов В. В. Helicobacter pylori и язвенная болезнь у монголоидов высоких широт: северная загадка? // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии и колопроктологии. 2001. № 2. Приложение № 13. Т. XI. С. 109.
18. Цыганкова Ю. А. Язвенная болезнь у жителей Тюменской области: распространенность, принципы лечения и профилактики: Автореф. дисс. … канд. мед. наук. Тюмень, 2012. 23 с.
19. Bernstein C. N., McKeown I., Embol J. M. Seroprevalence of Helicobacter pylori incidence of gastric cancer, and peptic ulcer-associated hospitalizations in a Canadian indian population // Dig. Dis. Sciences. 1999. Vol. 44. № 4. P. 668–674.
20. Shepetikhina N. N., Osmanov E. M., Denikin A. Yu. The Ottomans Э. M., A. Denikin on evaluation of THE disability of patients with peptic ulcer // Vestnik Tambovskogo Universiteta. 2012. Vol. 17. № 1. P. 273–276.

Nikiforova N. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Karapetyan T. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Dorshakova N. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ASSESSMENT OF PEPTIC ULCER DISEASE INCIDENCE IN POPULATION OF KARELIAN REPUBLIC

The problem of peptic ulcer disease is one of the most important issues in gastroenterology. In spite of modern achievements, this disease cannot be cured completely. Results of the epidemiological research on ulcer disease incidence on the territory of Karelian Republic in the period of 2000–2013 are presented. It shows that Karelia is a region, which is highly conducive to peptic ulcer development. The incidence of the disease on the territory of Karelia exceeds the average level of this disease occurrence in Russia. The primary morbidity of ulcer disease in Karelia remains high, which means that every year a large number of new cases of stomach and duodenal ulcer are revealed. The low decrease in the overall incidence of peptic ulcer cases shows that this disease has a severe recurrent character.

Key words: ulcer, Karelia, incidence

REFERENCES

1. Valenkevich L. N., Yakhontova O. I. *Bolezni organov pishchevareniya: Rukovodstvo po gastroenterologii dlya vrachey* [Diseases of the digestive system. Manual of Gastroenterology for physicians]. St. Petersburg, DEAN Publ., 2006. 656 p.
2. Vasil'ev Yu. V. Pathogenetic aspects of peptic ulcer treatment [Patogeneticheskie aspekty terapii yazvennoy bolezni]. *Russkiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Medical Journal]. 2011. Vol. 19. № 28. P. 1761–1765.
3. Dorshakova N. V., Karapetyan T. A., Zhestyanikov A. L. Some features of the trace element status in patients with neurocirculatory dystonia living in Karelia [Nekotorye osobennosti mikroelementnogo statusa u prozhivayushchikh v Karelii bol'nykh neyrotsirkulyatornoy distoniey]. *Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva* [Ecological Bulletin of scientific centers of the Black Sea Economic Cooperation]. 2004. № 3. P. 38.
4. Dorshakova N. V., Karapetyan T. A., Zhestyanikov A. L., Nikitina K. A. Realization of the role of environmental factors in the development of different diseases and aging of the people living in the north [Realizatsiya roli ekologicheskikh faktorov v protsesse razvitiya patologii i stareniya cheloveka, zhivushchego na severe]. *Sbornik nauchnykh trudov II Rossiyskogo simpoziuma "Svetovoy rezhim, starenie i rak"* [In the collection of scientific works of the II Russian Symposium "Light regime, aging and cancer"]. Petrozavodsk, 2013. P. 95–101.
5. Dudanova O. P. Genotypic characterization of HBV-infection in Karelia [Genotipicheskaya kharakteristika HBV-infektsii v Karelii]. *Meditsinskiy akademicheskiy zhurnal* [Medical academic journal]. 2005. № 2. Annex № 6. P. 26–31.
6. Zhernakova N. I., Medvedev D. S. Clinical and epidemiological features of the course of peptic ulcer disease in different age groups [Kliniko-epidemiologicheskie osobennosti techeniya yazvennoy bolezni v razlichnykh vozrastnykh grup-

pakh]. *Nauchnye vedomosti. Seriya Meditsina. Farmatsiya* [Scientific statements. Series Medicine. Pharmacy]. 2010. Vol. 10. № 81. P. 12–16.
7. Zhigalova N. I., Sarkisov K. A. Medical examination of gastric ulcer and duodenal ulcer [Meditsinskaya ekspertiza pri yazvennoy bolezni zheludka i dvenadtsatiperstnoy kishki]. *Zamestitel' glavnogo vracha* [Deputy Chief Physician]. 2007. Vol. 8. № 15. P. 50–57.
8. Kaznacheev V. P. Modern problems of synthetic ecology "syndrome of polar tension" [Sovremennye problemy sinteticheskoy ekologii: "Sindrom polyarnogo napryazheniya"]. *Byulleten' SO RAMN. Sibirskoe otdelenie* [Bulletin SB RAMS. Siberian Branch]. 1997. № 1. P. 6–10.
9. Karapetyan T. A., Dorshakova N. V., Nikiforova N. A. On the need to study the formation of the pathology in the northern territories [O neobkhodimosti izucheniya formirovaniya patologii na severnykh territoriyakh]. *Sbornik nauchnykh trudov II Rossiyskogo simpoziuma "Svetovoy rezhim, starenie i rak"* [In the collection of scientific works of the II Russian Symposium "Light regime, aging and cancer"]. Petrozavodsk, 2013. P. 141–148.
10. Komarov F. I., Rapoport S. I. *Khronobiologiya i khronomeditsina* [Chronobiology and chronomedicine]. Moscow, Triada-Kh Publ., 2000. 488 p.
11. Lazebnik L. B. Epidemiology of gastric ulcer and duodenal ulcer [Epidemiologiya yazvennoy bolezni zheludka i dvenadtsatiperstnoy kishki]. *Terapevticheskiy arkhiv* [Therapeutic Archives]. 2007. Vol. 79. № 2. P. 12–15.
12. Nikolaev Yu. A., Pal'tsev A. I., Kuznetsova T. V. The clinical course of digestive diseases at the alien population in the north [Osobennosti klinicheskogo techeniya zabolevaniy organov pishchevareniya u prishlogo naseleniya na severe]. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin SB RAMS]. 2006. Vol. 3. № 121. P. 122–125.
13. Oganezova I. A. *Klinicheskie i psikhofiziologicheskie aspekty techeniya yazvennoy bolezni v ekstremal'nykh usloviyakh sredy: Avtoref. diss. ... d-ra med. nauk* [Clinical and physiological aspects of the ulcer in extreme environmental conditions. Author's thesis of. Dr. med. sci. diss.]. Arkhangelsk, 2005. 30 p.
14. Rutgayzer Ya. M., Mikhaylov A. G. The possibility of assessing the quality of life of patients in the gastroenterology practice [Vozmozhnosti otsenki kachestva zhizni bol'nykh v gastroenterologicheskoy praktike]. *Klinicheskaya meditsina* [Clinical Medicine]. 1999. Vol. 77. № 3. P. 35–38.
15. Savchenko A. A., Manchuk V. T. Metabolic mechanism of immune deficiency during adaptation period in the Far North [Metabolicheskiy mekhanizm razvitiya immunnoy nedostatochnosti pri adaptatsii v usloviyakh kraynego Severa]. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin SB RAMS]. 2003. Vol. 2. № 108. P. 98–101.
16. Khasnulin V. I., Khasnulin P. V. Modern views on the mechanisms of formation of Northern stress in humans at high latitudes [Sovremennye predstavleniya o mekhanizmakh formirovaniya severnogo stressa u cheloveka v vysokikh shirotakh]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. Novosibirsk. 2012. № 1. P. 3–11.
17. Tsukanov V. V. Helicobacter pylori and peptic ulcer disease in Mongoloids of high latitudes: the northern mystery? [Helicobacter pylori i yazvennaya bolezn' u mongoloidov vysokikh shirot: severnaya zagadka?]. *Rossiyskiy zhurnal gastroenterologii, gepatologii i koloproktologii* [Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology and Coloproctology]. 2001. № 2. Application № 13. Vol. XI. P. 109.
18. Tsygankova Yu. A. *Yazvennaya bolezn' u zhiteley Tyumenskoy oblasti: rasprostranennost', printsipy lecheniya i profilaktiki: Avtoref. diss. ... kand. med. nauk* [Peptic ulcer disease among residents of the Tyumen region: prevalence, principles of treatment and prevention. Author's thesis of the Cand. med. sci. diss…]. Tyumen, 2012. 23 p.
19. Bernstein C. N., McKeown I., Embol J. M. Seroprevalence of Helicobacter pylori incidence of gastric cancer, and peptic ulcer-associated hospitalizations in Canadian Indian population // Dig. Dis. Sciences. 1999. Vol. 44. № 4. P. 668–674.
20. Shepetikhina N. N., Osmanov E. M., Denikin A. Yu. The Ottomans Э. M., A. Denikin on evaluation of peptic ulcer patients' disability // Vestnik Tambovskogo Universiteta. 2012. Vol. 17. № 1. P. 273–276.

Поступила в редакцию 06.05.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Медицинские науки** **2014**

УДК 612.359.2

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

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПЕЧЕНИ ПРИ ОЖИРЕНИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Рассматривается актуальная проблема современной медицинской науки – изучение и анализ особенностей структурно-функциональных изменений в печени при ожирении, являющемся в настоящее время важной проблемой, приобретающей все большую социальную значимость. Дан обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященной этой проблеме. Результаты проведенных исследований выявили значительные структурные изменения в печени на органном, тканевом, клеточном, субклеточном и молекулярном уровнях организации органа. Ожирение сопровождается функциональным напряжением капилляро-соединительнотканных структур, нарушением кровообращения и лимфотока в печени. Изменения структурной организации печени отражаются на ее функциональном состоянии и, не в последнюю очередь, на состоянии процессов липидного обмена.

Ключевые слова: печень, ожирение, гепатоциты, дистрофия

В настоящее время ожирение является одним из самых распространенных метаболических нарушений у взрослого населения, особенно в экономически благополучных странах, где ожирением страдают 25–30 % населения. В России в среднем 30 % лиц трудоспособного возраста имеют ожирение и 25 % – избыточную массу тела. До 1980 года частота ожирения в индустриально развитых странах не превышала 10 %, а уже в 2005 году свыше 1,6 млрд населения планеты имели избыточный вес, в том числе более 400 млн – ожирение. Согласно некоторым прогнозам к 2016 году избыточная масса тела будет отмечаться у 2,3 млрд человек и более чем у 700 млн – ожирение [14].

Ожирение, помимо того что само по себе вызывает серьезные метаболические нарушения, в большинстве случаев предрасполагает к развитию тяжелых заболеваний, таких как заболевания печени, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, инсулиннезависимый сахарный диабет, эндокринные болезни и др. [13]. При ожирении страдают практически все системы организма, при этом уникальным органом, где перекрещиваются все метаболические пути и осуществляются ключевые обменные процессы, является печень.

Впервые жировой гепатоз был описан в 1968 году [16]. Термин «неалкогольный стеатогепатит», предложенный J. Ludwig с соавторами, используется в настоящее время и определяется как совокупность клинических проявлений, характерных для пациентов, не злоупотребляющих алкоголем в анамнезе, но имеющих гистологические изменения в печеночной ткани, подобные изменениям при алкогольном гепатите [33]. Американская ассоциация гастроэнтерологов, Комитет клинической практики и Американская ассоциация по изучению заболеваний печени [40] рекомендуют использовать термин «неалкогольная жировая болезнь печени» (НАЖБП). В соответствии с Международной классификацией болезней и проблем, связанных со здоровьем, 10-го пересмотра [28], для использования в Российской Федерации рекомендован термин «жировая дистрофия печени», объединяющий две возможные морфологические формы или стадии болезни: стеатоз и стеатогепатит, но у морфологов и до сих пор широко применяются термины «жировая дистрофия», «жировое перерождение печени», «жирная печень» и некоторые другие. Все эти медико-биологические определения имеют право на существование как объединяющие две возможные морфологические формы как стадии болезни: стеатоз и стеатогепатит.

До недавнего времени НАЖБП расценивалась как патологическое состояние, возникающее и формирующееся почти исключительно у тучных людей, в большинстве случаев – женщин с инсулиннезависимым сахарным диабетом, и квалифицировалось как состояние с благоприятным прогнозом для жизни [24]. Работами ряда исследователей показано, что НАЖБП как хронический гепатит неинфекционной этиологии на стадии неалкогольного стеатогепатита (НАСГ) может прогрессировать до цирротической стадии в 15–50 % случаев [25] и приводить к развитию гепатоцеллюлярной карциномы [42]. L. A. Adams с соавторами доказал, что наличие НАЖБП уменьшает среднюю продолжительность жизни больных [17]. К настоящему времени доказано, что НАЖБП является основной причиной развития хронических заболеваний печени. У лиц с высокой степенью ожирения

© Васендин Д. В., 2014

НАЖБП выявляется в 91 % случаев, при наличии метаболического симптомокомплекса – у 63–70 % пациентов [43]. В современных России, Северной Америке, Японии и Европе распространенность НАЖБП во взрослой популяции варьирует от 10 до 40 % [5].

Как известно, основным источником энергии в организме являются триглицериды, синтез и депонирование которых осуществляется в адипоцитах – жировых клетках. Увеличение массы жировой ткани возможно: а) в результате увеличения количества адипоцитов (гиперпластический тип ожирения); б) при увеличении количества жира в адипоцитах (гипертрофическое ожирение). При гиперпластическом типе ожирения метаболические расстройства не выражены, поэтому течение его, как правило, доброкачественное. Толерантность к глюкозе и уровень секреции инсулина приближены к норме. При гипертрофическом ожирении диаметр жировых клеток увеличивается в 2 раза, они содержат триглицеридов до 8 раз больше, чем здоровые клетки. При этом типе ожирения адипоциты оказываются малочувствительными к инсулину, но они становятся более чувствительными к липолитическим гормонам, поэтому в сыворотке крови повышена концентрация свободных жирных кислот (СЖК) и триглицеридов. Гиперсекреция инсулина сочетается с нормальной (или нарушенной) толерантностью к глюкозе. В ряде исследований показано, что при смещении равновесия «поступление – потребление энергетических субстратов» в сторону преобладания их поступления возможно увеличение количества жировых клеток за счет превращений фибробластов в адипоциты [30]. Ключевым звеном в системе регуляции количества жировой ткани в организме являются сами адипоциты, выделяющие ряд биологически активных веществ, регулирующих аппетит, в первую очередь – специфический белок лептин. Выявлен четкий параллелизм между количеством лептина в крови и содержанием жировой ткани; также было показано, что экспрессия гена определяется не только количеством жировой ткани, но и содержанием триглицеридов в адипоцитах [27]. Экспрессия гена лептина возрастает под влиянием инсулина, эстрогенов, глюкокортикоидов. Помимо этого, участие адипоцитов в контроле массы жировой ткани может зависеть от количества непосредственно вырабатываемого ими тепла [1]. Механизмы, определяющие количество клеток, тесно связаны с липидным обменом. Ген ADD1/SREBP контролирует не только превращение фибробластов в адипоциты, но также синтез жирных кислот и холестерина. По всей вероятности, экспрессия этого гена в значительной мере определяет гиперхолестеринемию, но, с другой стороны, уровень холестерина, связанного с липопротеинами высокой плотности (ЛПВП), в плазме у страдающих ожирением лиц часто снижен.

Морфологическим субстратом стеатоза является накопление в гепатоцитах липидов с различной выраженностью жировой дистрофии от мелкокапельной до развития жировых кист. Жировая дистрофия может быть диффузной или локализованной, прежде всего в центральных зонах долек, и сопровождается формированием жировых кист [33]. Жировые включения могут локализовываться в любых зонах печеночной дольки. Наряду с жировой дистрофией гепатоцитов наблюдаются некроз и (или) воспалительная инфильтрация, что и позволяет верифицировать стеатогепатит [12]. Исследование биоптатов печени в экспериментальной модели НАСГ обнаруживает апоптоз гепатоцитов. Причем активность апоптотического процесса в клетке коррелирует с выраженностью заболевания [38]. Обращает на себя внимание выраженное изменение структуры и формы гепатоцитов, особенно – при алкогольной болезни печени (АБП) (явление полиморфизма). Согласно мнению Х. Мансурова и С. Кучак [10], выраженный полиморфизм гепатоцитов наблюдается при активных дистрофических изменениях и является признаком регенерации. Дискомплексация печеночных балок как признак воспалительно-некротических изменений коррелирует с выраженностью воспалительного процесса [6]. Дискомплексация печеночных балок может быть очаговой, или диффузной, или сочетанной. Состав клеточных инфильтратов зависит от многих факторов; у больных НАЖБП чаще определяется лимфомакрофагальная инфильтрация. Интересно отметить, что при АБП инфильтрация портальных трактов лейкоцитами встречается в 3 раза чаще, чем при НАЖБП [12]; Kh. Kh. Mansurov, G. K. Mirodzhov et al. [34] показали, что при НАСГ инфильтрация синусоидов преимущественно лимфомакрофагальная, в то время как проникновение лейкоцитов более типично для алкогольного стеатогепатита. Выраженность инфильтрации при АБП больше, нежели при НАЖБП, причем существует взаимосвязь между инфильтрацией портального тракта и выраженностью его фиброза.

Наличие телец Маллори некоторые гистологи не считают важным критерием для постановки диагноза НАСГ [21], другие квалифицируют их наличие как морфологический признак поражения печени алкогольного генеза [2].

Конечной стадией дистрофических и некробиотических процессов является некроз гепатоцитов, который стимулирует фиброгенез, характеризующийся формированием септ, играющих, в свою очередь, ведущую роль в развитии фиброзного процесса [8]. Образованию фиброзной ткани в печени способствует и инфильтрация свободными жирными кислотами, приводя опосредованно, через влияние продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), к запуску каскада фиброгенеза [41]. У лиц с АБП процессы фиброзирования более выражены [12]. Фиброз

печени, как правило, развивается при длительно протекающих, хронических процессах. Большая активность процессов фиброзирования при АБП объясняется тем, что повреждение гепатоцитов и воспалительная реакция, значительно более выраженная при алкогольном стеатогепатите, являются мощными стимуляторами фиброгенеза. Не менее важный механизм повреждения клеток печени – образование свободных радикалов и реактивных метаболитов (СЖК как источники ПОЛ) [40]. ПОЛ являются также стимуляторами коллагенообразования. Кроме того, продукты ПОЛ способны активировать звездчатые клетки печени [41]. Помимо активации звездчатых клеток, при ожирении происходит экспрессия маркера апоптоза Bcl-2. В процессе активации звездчатые клетки приобретают способность к продукции цитокина TGF-β, делению и дифференцировке в миофибробласты, стимулирующие синтез фиброзной ткани во внеклеточный матрикс печени и ингибирующие его деградацию, – в этих условиях TGF-β представляет собой важный фактор поддержания процессов фиброгенеза [9]. При длительном персистировании процесса стимуляция звездчатых клеток сопровождается цирротическими изменениями в клетках печени [3]. TGF-β инициирует трансформацию жиронакапливающих клеток Ito в фибробласты, продуцирующие преимущественно коллаген 3-го типа [11].

TNF-R1, являющийся рецептором клеточной гибели, играет важную роль в процессах апоптоза гепатоцитов [26]. Имеются данные об экспрессии TNF-R1 при неалкогольном стеатогепатите [23]. Также известно, что через туморонекротизирующий фактор-альфа (TNF-α) осуществляется передача сигналов TNF-R1, что важно в регулировании пролиферации гепатоцитов [22].

Липидная пероксидация является одной из ферментативных реакций, определяющих процесс ПОЛ, а также провокатором клеточного воспаления. По мнению некоторых авторов, концентрация пероксидазы повышается при стеатогепатитах, что подтверждает значение оксидативного стресса в патогенезе заболевания [36]. Именно эффектами ПОЛ представляется возможным объяснить многие наблюдаемые при стеатогепатите патогистологические эффекты.

Нами установлено, что структурные изменения в паренхиматозных клетках сопровождаются функциональным напряжением капилляросоединительнотканных структур, нарушением кровообращения и лимфотока в печени. Ожирение приводит к увеличению емкости синусоидных капилляров на фоне нарушений в системе оттока, что ведет к увеличению давления в синусной системе (это в итоге приводит к нарушению гемато-паренхиматозного барьера), ухудшению трофики паренхиматозных клеток органа, развитию тканевой (гистотоксической) гипоксии, создавая условия к инициации процессов фиброгенеза и некроза [4]. Расширение лимфатических пространств Малла – щелей между паренхимой печени и соединительной тканью, окружающей ветви воротной вены, – свидетельствует о напряженном состоянии путей тканевой несосудистой микроциркуляции, затруднении продвижения жидкостных составляющих, отводимых от печеночной дольки. При этом по расширенным тканевым щелям и лимфатическим сосудам происходит интенсивная миграция лимфоидных элементов и макрофагов. Здесь уместно отметить, что именно макрофагам принадлежит определенная роль в формировании метаболического симптомокомплекса и развитии ожирения (точнее – жировой дистрофии гепатоцитов): макрофаги, подвергаясь воздействию модифицированных липопротеинов низкой плотности, экспрессируют на своей поверхности специфические (мусорщики)-рецепторы, которые связывают и усваивают частицы липопротеинов низкой плотности. Макрофаг, по мере того как его цитозоль переполняется холестерином, приобретает гистологические характеристики так называемой пенистой клетки. Последние способны провоцировать и усугублять воспалительный процесс и формирование атеросклеротической бляшки путем продукции матриксных металлопротеиназ, пероксидов и супероксидов, цитокинов и тканевого прокоагулянтного фактора. Наличие и/или прогрессирование воспалительного процесса будет стимулировать развитие стеатогепатита [7]. «Пенистые клетки» подвергаются апоптозу и некрозу, способствуя в конечном счете формированию и прогрессированию некротической сердцевины атеросклеротических бляшек [31].

Дислипопротеинемия (нарушение соотношения атерогенных и антиатерогенных липопротеинов) играет важную роль в формировании метаболического симптомокомплекса при ожирении и других ассоциированных с ожирением заболеваниях [15]. Согласно критериям IDF [44], для метаболического синдрома характерно повышение уровня триглицеридов более 1,9 ммоль/л, снижение уровня холестерина ЛПВП менее 1,03 ммоль/л для мужчин и менее 1,29 ммоль/л – для женщин.

Стойкая дислипопротеинемия является звеном в патогенезе жировой болезни печени. К настоящему времени ясно, что накопление жира в гепатоцитах является следствием повышенного поступления СЖК из жировой ткани; увеличение притока СЖК и снижение скорости их окисления приводит к этерификации СЖК с избыточным образованием триглицеридов в гепатоцитах и секреции повышенного количества липопротеинов очень низкой плотности, способствующих усилению свободнорадикального окисления липидов и прогрессирующему накоплению продуктов их перекисного окисления [35]. В условиях повышенного поступления СЖК в печень возрастает роль микросомального окисления жирных кислот с участием цитохрома P450 (CYP2E1

и CYP4A) и уменьшается митохондриальное окисление СЖК, что приводит к образованию и накоплению реактивных форм кислорода, обладающих прямым цитотоксическим действием на гепатоциты и инициирующих процессы перекисного окисления липидов. На фоне нарастающей секреции провоспалительных цитокинов жировой тканью реактивные формы кислорода способствуют разобщению процесса окислительного фосфорилирования, истощению митохондриальной АТФ и в итоге к повреждению гепатоцитов и их некрозу [20].

До настоящего времени концепция ключевой и уникальной роли печени в обмене жиров является ведущей. Связь НАЖБП с гиперлипидемией отмечают многие исследователи [18], [37]. По данным А. Буеверова и соавт., гиперлипидемия выявляется у 20–80 % больных НАСГ. Интересно, что с гипертриглицеридемией НАСГ сочетается чаще, чем с гиперхолестеринемией [3]. Снижение в крови уровня холестерина ЛПВП наблюдается у большинства больных НАЖБП [18]. Стеатоз печени может влиять на выраженность дислипидемии. Дислипидемию целесообразно рассматривать как один из основных факторов, приводящих к формированию жировой болезни печени [33]. Многие исследователи обоснованно придерживаются мнения, что измененные функции печени являются первопричиной нарушений процессов липидного обмена, следовательно, измененное патологическое функционирование печени может быть самостоятельным, дополнительным и независимым фактором риска развития дислипидемий [32].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов В. А., Благосклонная Я. В., Шляхо Е. В., Красильникова Е. И. Метаболический сердечно-сосудистый синдром. СПб.: Изд-во СПбГМУ, 1999. 208 с.
2. Бабак О. Я. Алкогольная болезнь печени: научные достижения и клинические перспективы // Сучасна гастроэнтерологія. 2006. Т. 36. № 4. С. 4–9.
3. Буеверов А. О., Маевская М. В., Широкова Е. Н. Неалкогольный стеатогепатит. М.: Изд-во МГМА им. И. М. Сеченова, 2005. 17 с.
4. Васендин Д. В., Мичурина С. В., Ищенко И. Ю. Морфометрическое исследование печени крыс Вистар с моделью алиментарного ожирения // Ученые записки Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И. П. Павлова. 2014. Т. XXI. № 1. С. 41–44.
5. Драпкина О. М., Смирин В. И., Ивашкин В. Т. Неалкогольная жировая болезнь печени – современный взгляд на проблему // Лечащий врач. 2010. № 5. С. 57–60.
6. Комаров Д. В., Цинзерлинг В. А. Морфологическая диагностика инфекционных поражений печени: Практическое рук-во. СПб.: СОТИС, 1999. 245 с.
7. Курганова И. В. Показатели липидного и белкового обмена крови и состояние клеток печени при экспериментальном ожирении: Автореф. дисс. … канд. мед. наук. Новосибирск, 2002. 16 с.
8. Логинов А. С., Аруни Л. И. Клиническая морфология печени. М.: Медицина, 1985. 240 с.
9. Маевская М. В. Алкогольная болезнь печени // Консилиум медикум. 2001. Т. 3. № 6. С. 2–10.
10. Мансуров Х. Х., Кучак С. Н. Биопсия печени. Атлас гистологических исследований. Душанбе: Изд-во АМН СССР, 1964. 40 с.
11. Маянский Д. Н., Зубахин А. А. Клеточно-молекулярные механизмы формирования цирроза печени // Росс. журн. гастроэнтерол., гепатол., колопроктол. 1998. № 6. С. 6–13.
12. Мухтар А. А. Клинико-морфологическая характеристика жировой болезни печени невирусной этиологии: Автореф. дисс. … канд мед. наук. М., 2007. 17 с.
13. Ожирение: Рук-во для врачей / Под ред. Н.А. Белякова и В.И. Мазурова. СПб.: Издательский дом СПбМАПО, 2003. 520 с.
14. Романцова Т. И. Эпидемия ожирения: очевидные и вероятные причины // Ожирение и метаболизм. 2011. № 1. С. 5–19.
15. Усенко Г. А., Усенко А. Г., Васендин Д. В., Нищета О. В., Машков С. В., Величко Н. П., Козырева Т. Ю. Липиды крови, ожирение и уровень осложнений гипертонической болезни в зависимости от психосоматических особенностей пациента и лечения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета. Сер. 11: Медицина. 2014. № 1. С. 133–141.
16. Хазанов А. И. Функциональные пробы в диагностике заболеваний печени. М.: Медицина, 1968. 404 с.
17. Adams L. A., Talwalkar J. A. Diagnostic evaluation of nonalcoholic fatty liver disease // J. Clin. Gastroenterol. 2006. Vol. 40 (3 Suppl. 1). P. S34–38.
18. Assy N., Kaita K., Mymin D., Levt C., Rosser B., Minuk G. Fatty infiltration of liver in hyperlipidemic patients // Dig. Dis. Sci. 2000. Vol. 45. P. 1929–1934.
19. Blomhoff J. P. Lipoproteins, lipases and the metabolic cardiovascular syndrome // J. Cardiovasc. Pharmacol. 1992. Vol. 20 (Suppl. 3). P. S22–S25.
20. Browning J. D., Horton J. D. Molecular mediators of hepatic steatosis and liver injury // J. Clin. Invest. 2004. № 114. P. 147–152.
21. Brunt E. M. Nonalcoholic steatohepatitis // Sem. Liver Dis. 2001. Vol. 21. № 1. P. 3–20.
22. Chiu H., Gardner C. R., Dambach D. M., Darham S. K., Briuingham I. A., Laskin J. D., Laskin D. L. Role of tumor necrosis factor receptor 1 (p55) in hepotocyte proliferation during acetaminophen-induced toxicity in mice // Toxicol. Appl. Pharmacol. 2003. Vol. 193. № 2. P. 218–227.
23. Crespo J., Cayon A., Fernandez-Gil P., Hernandez-Guerra M., Mayerga M., Dominguez-Diez A., Fernandez-Escalante J. C. Gene expression of tumor necrosis factor alpha and TNF-receptors, p55 and p75, in nonalcoholic steatohepatitis patients // Hepatology. 2001. Vol. 34. № 6. P. 1158–1163.
24. Dam-Larsen S., Franzmann M., Andersen I. B., Christoffersen P., Jensen L. B., Sorensen T. I. A., Becker U., Bendtsen F. Long term prognosis of fatty liver: risk of chronic liver disease and death // Gut. 2004. Vol. 53. P. 750–755.
25. Day C. P. From fat to inflammation // Gastroenterology. 2006. № 30. P. 207–210.
26. Faubion W. A., Gores G. J. Death receptors in liver biology and pathobiology // Hepatology. 1999. Vol. 29. № 1. P. 1–4.
27. Friedmann J. M. The alphabet of weight control // Nature. 1997. Vol. 385. P. 119–120.
28. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision. Geneva.: WHO, 1995.

29. Jenkins A., Markowic T., Fleury A., Campbell L. Carbohydrate intake and short-term regulation of leptin in humans // Diabetologia. 1997. Vol. 28. P. 813–818.
30. Jonge L., Bray G. The thermic affect of blood and obesity: a critical review // Obesity Res. 1997. Vol. 5. P. 622–631.
31. Libby P. Inflammation in atherosclerosis // Nature. 2002. № 420. P. 868–874.
32. Loria P., Lonardo A., Targher G. Is liver fat detrimental to vessels?: intersections in the pathogenesis of NAFLD and atherosclerosis // Clinical Science. 2008. № 115. P. 1–12.
33. Ludwig J., Viggiano T. R., McGill D. B., Oh N. J. Nonalcoholic steatohepatitis: Mayo Clinic experiences with a hitherto unnamed disease // Mayo Clin. Proc. 1980. Vol. 55. № 3. P. 434–438.
34. Mansurov Kh. Kh., Mirodzhov G. K., Mansurova F. Kh. Clinical and morphological features of alcoholic steatohepatitis // Klin. Med. 2005. Vol. 83. № 4. P. 37–40.
35. Musso G., Gambino M., Cassader M. Non-alcoholic fatty liver disease from pathogenesis to management: an update // Obesity Reviews. 2010. Vol. 6. № 11. P. 430–445.
36. Oliveria C. P., Fiantuch J., Raskovski A., Furuya C., Bastos M., Matsuda M., Della N. B., Yahnosi K., Abdata D., Vezozzo D., Alves V., Zilberstein B., Garrido A., Halpern A., Carrilho F., Gam-Rodrigues J. Lipid peroxidation in bariatric candidates with nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) preliminary findings // Obes. Surg. 2005. Vol. 15. № 4. P. 502–505.
37. Powell E. E., Cooksley W. G., Hanson R., Searle J., Halliday J. W., Powell L. W. The natural history of nonalcoholic steatohepatitis: a follow-up study of forty-two patients for up to 21 years // Hepatology. 1990. Vol. 11. P. 74–80.
38. Reddy J. K. Nonalcoholic steatosis and steatohepatitis III. Peroxisomal b-oxidation, PPAR-a and steatohepatitis // Am. J. Physiol. 2005. Vol. 22. № 10. P. G1333–1339.
39. Ribeiro P. S., Cortez-Pinto H., Sola S., Castro R. E., Ramalho R. M., Baptista A., Moura M. C., Camilo M. E., Rodrigues C. M. Hepatocyte apoptosis, expression of death receptors, and activation of NF-kappaB in the liver of nonalcoholic and alcoholic steatohepatitis patients // Am. J. Gastroenterol. 2004. Vol. 99. № 9. P. 1708–1717.
40. Sanyal A. J. American Gastroenterogical Association, AGA Technical Review on Nonalcoholic Fatty Liver Disease // Gastroenterology. 2002. Vol. 123. № 5. P. 1705–1726.
41. Sass D. A., Chang P., Chopra K. B. Nonalcoholic fatty liver disease: a clinical review // Dig. Dis. Sci. 2005. Vol. 50. № 1. P. 171–180.
42. Targher G., Marra F., Marchesini G. Increased risk of cardiovascular disease in non-alcoholic fatty liver disease: causal effect or epiphenomenon? // Diabetologia. 2008. Vol. 51. P. 1947–1963.
43. Targher G. Non-alcoholic fatty liver disease, the metabolic and the risk of cardiovascular disease: the plot thickens // Diabet. Med. 2007. № 24. P. 1–6.
44. Zimmet P. A new IDF worldwide definition of the metabolic syndrome: the rationale and results // Diabetes Voice. 2005. Vol. 50. P. 31–33.

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

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHANGES IN THE LIVER WITH OBESITY (LITERATURE REVIEW)

The very important issue of the modern medical science – research and analysis of special aspects of the structural and functional changes in the liver with obesity, which is currently considered to be a key issue of growing social importance – is being examined. A review of the national and foreign literature devoted to this problem is given in the article. The research results revealed significant structural changes in the liver at the organ, tissue, cellular, sub-cellular and molecular levels. Obesity is accompanied by functional tension of the structures connecting capillary tubes, and by blood circulation and liver disorders. Changes in the liver structure affect its functioning, as well as the lipid metabolism.

Key words: liver, obesity, hepatocytes, dystrophy

REFERENCES

1. Almazov V. A., Blagosklonnaya Ya. V., Shlyakho E. V., Krasil'nikova E. I. *Metabolicheskiy serdechno-sosudistyy sindrom* [Metabolic cardiovascular syndrome]. St. Petersburg, SPbGMU Publ., 1999. 208 p.
2. Babak O. Ya. Alcoholic liver disease: scientific advances and clinical expected [Alkogol'naya bolezn' pecheni: nauchnye dostizheniya i klinicheskie perspektivy]. *Suchasna gastroenterologiya* [Modern gastroenterology]. 2006. Vol. 36. № 4. P. 4–9.
3. Bueverov A. O., Maevskaya M. V., Shirokova E. N. *Nealkogol'nyy steatogepatit* [Non-alcoholic steatohepatitis]. Moscow, GMA th. I. M. Sechenov Publ., 2005. 17 p.
4. Vasendin D. V., Michurina S. V., Ishchenko I. Yu. Morphometric study of the Vistar rats' liver with alimentary obesity model [Morfometricheskoe issledovanie pecheni krys Vistar s model'yu alimentarnogo ozhireniya]. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta im. akad. I. P. Pavlova* [Record of the I. P. Pavlov St. Petersburg State Medical University]. 2014. Vol. XXI. №. 1. P. 41–44.
5. Drapkina O. M., Smirin V. I., Ivashkin V. T. Non-alcoholic fatty liver disease: modern view on the problem [Nealkogol'naya zhirovaya bolezn' pecheni – sovremennyy vzglyad na problemu]. *Lechashchiy vrach* [The Attending physician]. 2010. № 5. P. 57–60.
6. Komarov D. V., Tsinzerling V. A. *Morfologicheskaya diagnostika infektsionnykh porazheniy pecheni: Prakticheskoe ruk-vo* [Morphological diagnostics of infectious liver disease: a practical hands-on]. St. Petersburg, SOTIS Publ., 1999. 245 p.
7. Kurganova I. V. *Pokazateli lipidnogo i belkovogo obmena krovi i sostoyanie kletok pecheni pri eksperimental'nom ozhirenii: Avtoref. diss. ... kand. med. nauk* [Lipid and protein metabolism in blood and the state of the liver cells under experimental obesity. PhD med. sci. diss.]. Novosibirsk, 2002. 16 p.
8. Loginov A. S., Aruni L. I. *Klinicheskaya morfologiya pecheni* [Clinical morphology of the liver]. Moscow, Meditsina Publ., 1985. 240 p.
9. Maevskaya M. V. Alcoholic liver disease [Alkogol'naya bolezn' pecheni]. *Konsilium medikum* [Consilium Medicum]. 2001. Vol. 3. № 6. P. 2–10.
10. Mansurov Kh. Kh., Kuchak S. N. *Biopsiya pecheni. Atlas gistologicheskikh issledovaniy* [Liver biopsy. Atlas of histology]. Dushanbe: The Academy of Medical Sciences of the USSR Publ., 1964. 40 p.

11. Mayanskiy D. N., Zubakhin A. A. Cell molecular mechanisms of the development of cirrhosis of the liver [Kletochno-molekulyarnye mekhanizmy formirovaniya tsirroza pecheni]. *Ross. zhurn. gastroenterol., gepatol., koloproktol.* [Rus. journal gastroenterol., gepatol., coloproctol.]. 1998. № 6. P. 6–13.
12. Mukhtar A. A. *Kliniko-morfologicheskaya kharakteristika zhirovoy bolezni pecheni nevirusnoy etiologii: Avtoref. diss. ... kand. med. nauk* [Clinical and morphological characteristics of fatty liver disease non-viral etiology. PhD med. sci. diss.]. Moscow, 2007. 17 p.
13. *Ozhirenie: Ruk-vo dlya vrachey / Pod red. N. A. Belyakova i V. I. Mazurova* [Obesity: hand-on for doctors / Ed. by N. A. Belyakov and V. I. Mazurov]. St. Petersburg, SPbMAPO Publ., 2003. 520 p.
14. Romantsova T. I. The obesity epidemic: the obvious and possible causes [Epidemiya ozhireniya: ochevidnye i veroyatnye prichiny]. *Ozhirenie i metabolizm* [Obesity and metabolism]. 2011. №. 1. C. 5–19.
15. Usenko G. A., Usenko A. G., Vasendin D. V., Nishcheta O. V., Mashkov S. V., Velichko N. P., Kozyreva T. Yu. Blood lipids, obesity and the incidence of complications of hypertension depending on psychosomatic patient and treatment [Lipidy krovi, ozhirenie i uroven' oslozhneniy gipertonicheskoy bolezni v zavisimosti ot psikhosomaticheskikh osobennostey patsienta i lecheniya]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 11: Meditsina* [Vestnik of Saint Petersburg state University. Series 11: Medicine]. 2014. №. 1. P. 133–141.
16. Khazanov A. I. *Funktsional'nye proby v diagnostike zabolevaniy pecheni* [Functional tests in the diagnosis of liver disease]. Moscow, Meditsina Publ., 1968. 404 p.
17. Adams L. A., Talwalkar J. A. Diagnostic evaluation of nonalcoholic fatty liver disease // J. Clin. Gastroenterol. 2006. Vol. 40 (3 Suppl. 1). P. S34–38.
18. Assy N., Kaita K., Mymin D., Levt C., Rosser B., Minuk G. Fatty infiltration of liver in hyperlipidemic patients // Dig. Dis. Sci. 2000. Vol. 45. P. 1929–1934.
19. Blomhoff J. P. Lipoproteins, lipases and the metabolic cardiovascular syndrome // J. Cardiovasc. Pharmacol. 1992. Vol. 20 (Suppl. 3). P. S22–S25.
20. Browning J. D., Horton J. D. Molecular mediators of hepatic steatosis and liver injury // J. Clin. Invest. 2004. № 114. P. 147–152.
21. Brunt E. M. Nonalcoholic steatohepatitis // Sem. Liver Dis. 2001. Vol. 21. № 1. P. 3–20.
22. Chiu H., Gardner C. R., Dambach D. M., Darham S. K., Briuingham I. A., Laskin J. D., Laskin D. L. Role of tumor necrosis factor receptor 1 (p55) in hepotocyte proliferation during acetaminophen-induced toxicity in mice // Toxicol. Appl. Pharmacol. 2003. Vol. 193. № 2. P. 218–227.
23. Crespo J., Cayon A., Fernandez-Gil P., Hernandez-Guerra M., Mayerga M., Dominguez-Diez A., Fernandez-Escalante J. C. Gene expression of tumor necrosis factor alpha and TNF-receptors, p55 and p75, in nonalcoholic steatohepatitis patients // Hepatology. 2001. Vol. 34. № 6. P. 1158–1163.
24. Dam-Larsen S., Franzmann M., Andersen I. B., Christoffersen P., Jensen L. B., Sorensen T. I. A., Becker U., Bendtsen F. Long term prognosis of fatty liver: risk of chronic liver disease and death // Gut. 2004. Vol. 53. P. 750–755.
25. Day C. P. From fat to inflammation // Gastroenterology. 2006. № 30. P. 207–210.
26. Faubion W. A., Gores G. J. Death receptors in liver biology and pathobiology // Hepatology. 1999. Vol. 29. № 1. P. 1–4.
27. Friedmann J. M. The alphabet of weight control // Nature. 1997. Vol. 385. P. 119–120.
28. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems 10th Revision. Geneva.: WHO, 1995.
29. Jenkins A., Markowic T., Fleury A., Campbell L. Carbohydrate intake and short-term regulation of leptin in humans // Diabetologia. 1997. Vol. 28. P. 813–818.
30. Jonge L., Bray G. The thermic affect of blood and obesity: a critical review // Obesity Res. 1997. Vol. 5. P. 622–631.
31. Libby P. Inflammation in atherosclerosis // Nature. 2002. № 420. P. 868–874.
32. Loria P., Lonardo A., Targher G. Is liver fat detrimental to vessels?: intersections in the pathogenesis of NAFLD and atherosclerosis // Clinical Science. 2008. № 115. P. 1–12.
33. Ludwig J., Viggiano T. R., McGill D. B., Oh N. J. Nonalcoholic steatohepatitis: Mayo Clinic experiences with a hitherto unnamed disease // Mayo Clin. Proc. 1980. Vol. 55. № 3. P. 434–438.
34. Mansurov Kh. Kh., Mirodzhov G. K., Mansurova F. Kh. Clinical and morphological features of alcoholic steatohepatitis // Klin. Med. 2005. Vol. 83. № 4. P. 37–40.
35. Musso G., Gambino M., Cassader M. Non-alcoholic fatty liver disease from pathogenesis to management: an update // Obesity Reviews. 2010. Vol. 6. № 11. P. 430–445.
36. Oliveria C. P., Fiantuch J., Raskovski A., Furuya C., Bastos M., Matsuda M., Della N. B., Yahnosi K., Abdata D., Vezozzo D., Alves V., Zilberstein B., Garrido A., Halpern A., Carrilho F., Gam-Rodrigues J. Lipid peroxidation in bariatric candidates with nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) preliminary findings // Obes. Surg. 2005. Vol. 15. № 4. P. 502–505.
37. Powell E. E., Cooksley W. G., Hanson R., Searle J., Halliday J. W., Powell L. W. The natural history of nonalcoholic steatohepatitis: a follow-up study of forty-two patients for up to 21 years // Hepatology. 1990. Vol. 11. P. 74–80.
38. Reddy J. K. Nonalcoholic steatosis and steatohepatitis III. Peroxisomal b-oxidation, PPAR-a and steatohepatitis // Am. J. Physiol. 2005. Vol. 22. № 10. P. G1333–1339.
39. Ribeiro P. S., Cortez-Pinto H., Sola S., Castro R. E., Ramalho R. M., Baptista A., Moura M. C., Camilo M. E., Rodrigues C. M. Hepatocyte apoptosis, expression of death receptors, and activation of NF-kappaB in the liver of nonalcoholic and alcoholic steatohepatitis patients // Am. J. Gastroenterol. 2004. Vol. 99. № 9. P. 1708–1717.
40. Sanyal A. J. American Gastroenterogical Association, AGA Technical Review on Nonalcoholic Fatty Liver Disease // Gastroenterology. 2002. Vol. 123. № 5. P. 1705–1726.
41. Sass D. A., Chang P., Chopra K. B. Nonalcoholic fatty liver disease: a clinical review // Dig. Dis. Sci. 2005. Vol. 50. № 1. P. 171–180.
42. Targher G., Marra F., Marchesini G. Increased risk of cardiovascular disease in non-alcoholic fatty liver disease: causal effect or epiphenomenon? // Diabetologia. 2008. Vol. 51. P. 1947–1963.
43. Targher G. Non-alcoholic fatty liver disease, the metabolic and the risk of cardiovascular disease: the plot thickens // Diabet. Med. 2007. № 24. P. 1–6.
44. Zimmet P. A new IDF worldwide definition of the metabolic syndrome: the rationale and results // Diabetes Voice. 2005. Vol. 50. P. 31–33.

Поступила в редакцию 14.05.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Сельскохозяйственные науки** **2014**

УДК 332.145

НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ ИВАНОВ
кандидат экономических наук, доцент кафедры землеустройства факультета землеустройства, Государственный университет по землеустройству (Москва, Российская Федерация)
nickibut@yandex.ru

ЛЮБОВЬ ПАВЛОВНА ЕВСТРАТОВА
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой агрономии, землеустройства и кадастров агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
levstratova@yandex.ru

ЕЛЕНА ВАЛЕНТИНОВНА НИКОЛАЕВА
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, землеустройства и кадастров агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ln21@mail.ru

К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПАШНИ В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ*

В ходе последней земельной реформы при перераспределении сельскохозяйственных земель между землевладельцами и землепользователями сформировались специфические формы хозяйствования – крестьянские (фермерские) хозяйства (КФХ). Эффективность их работы во многом определяется выбранной специализацией производства. Цель работы – изучить опыт использования пахотных земель в фермерских хозяйствах Белгородской области для его распространения в других регионах России. На основе сравнительного анализа деятельности КФХ в 21 муниципальном районе по некоторым факториальным и результативным показателям с учетом агроклиматического районирования территории, а также с привлечением методов многомерного статистического анализа выявлено, что большинство районов северо-западной части Белгородской области отличаются более высокими показателями урожайности подсолнечника и зерновых культур при меньшей площади пашни, отведенной для их выращивания. Хозяйства юго-востока области, специализирующиеся на возделывании сахарной свеклы, убыточны. В КФХ центральной части преимущественно сосредоточены площади посева зерновых культур, подсолнечника и получена максимальная прибыль. Таким образом, на примере Белгородской области установлено, что в фермерских хозяйствах для рационального размещения полевых культур необходимо учитывать биологические требования растений, агроклиматическое районирование, территориальное расположение муниципальных районов, организационно-экономические и другие показатели.

Ключевые слова: рациональное использование пашни, фермерские хозяйства, агроклиматические районы

Одним из основных итогов земельной реформы начала 1990-х годов явилось формирование частной собственности на землю юридических и физических лиц, а также коллективно-долевой собственности из земель кооперативных сельскохозяйственных предприятий (колхозов, совхозов), в результате чего произошло перераспределение сельскохозяйственных земель между землевладельцами и землепользователями. При этом появились такие специфические формы хозяйствования, как крестьянские (фермерские) хозяйства (КФХ). За этот период в целом по стране возникло около 290 тыс. КФХ с общей земельной собственностью около 12 млн га. Наряду с этим в таких малых предприятиях сельскохозяйственное производство недостаточно устойчиво и эффективно в связи с известными общими проблемами: нерациональные параметры землепользования, сложившиеся экстенсивные методы ведения хозяйства, несоответствие производственного потенциала их землепользования выбранной специализации и т. д.

Тем не менее в течение земельных преобразований уполномоченными органами власти предпринимаются попытки создать более благоприятные условия для развития КФХ. Так, например, с принятием Федерального закона от 24.07.2002 г. № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения» (с изменениями) появились возможности:

- преимущественного права гражданам – членам КФХ на земельный участок, находящийся в долевой собственности, при возмездном отчуждении;
- формирования муниципальной земельной собственности и дальнейшей передачи малым предприятиям данных земельных участков, образованных в счет невостребованных земельных долей.

© Иванов Н. И., Евстратова Л. П., Николаева Е. В., 2014

В аграрном секторе различных регионов России удельный вес КФХ неодинаков и зависит от природно-климатических факторов, качества управления, финансирования и др. Так, например, в Республике Карелия для КФХ (см. Доклад о состоянии и использовании земель в Республике Карелия в 2013 году) отведено 3,7 % (7,8 тыс. га) земель сельскохозяйственного назначения, из них сельскохозяйственные угодья составили 70,5 % (5,5 тыс. га), в том числе пашня 36,4 % (2,0 тыс. га). В отличие от Карелии, в Белгородской области, занимающей лидирующие позиции по развитию агропромышленного комплекса в Центральном федеральном округе России, на долю КФХ (см. Доклад о состоянии и использовании земель в Белгородской области за 2013 год) пришлось 7,6 % (158,8 тыс. га) земель сельскохозяйственного назначения. Фермерские хозяйства размещены в основном на сельскохозяйственных угодьях (98,3 %, 156,1 тыс. га), из них площадь пашни составила 87,1 % (136 тыс. га).

Цель настоящей работы – изучить опыт использования пахотных земель в фермерских хозяйствах Белгородской области для его распространения в Северо-Западном и других регионах России.

В данном исследовании обобщены статистические показатели возделывания зерновых культур, подсолнечника и сахарной свеклы в фермерских хозяйствах 21 муниципального района Белгородской области (2008–2013 годы). Территория этой области с учетом агроклиматического районирования разделена на три агроклиматических района [1]. Северо-западный район (I) включает десять муниципальных районов (Белгородский, Борисовский, Грайворонский, Губкинский, Ивнянский, Корочанский, Краснояружский, Прохоровский, Ракитянский, Яковлевский) и характеризуется повышенными показателями увлажнения почв. Здесь преобладают в основном типичные и выщелоченные черноземы (мощные и среднемощные малогумусные).

Центральный район (II), представленный шестью муниципальными районами (Красненский, Красногвардейский, Новооскольский, Старооскольский, Чернянский, Шебекинский), отличается более низкими значениями влажности почв. В этом районе наряду с типичными и выщелоченными встречаются оподзоленные черноземы. В отличие от северо-западного района они среднемощные, средне- и малогумусные.

Юго-восточный район (III) объединяет пять муниципальных районов (Алексеевский, Валуйский, Вейделевский, Волоконовский, Ровеньский). Для него свойственны неустойчивость увлажнения, частые засухи, суховеи и максимальная теплообеспеченность растений. Здесь распространены черноземы обыкновенные среднемощные и среднегумусные.

От общей площади фермерских хозяйств в I агроклиматическом районе их площадь составляла 67,6 тыс. га (44 %), во II – 44,6 тыс. га (29 %), в III – 41,6 тыс. га (27 %).

Исходя из почвенно-климатических особенностей вышеуказанных районов и распределения земельных ресурсов, наиболее оптимальные условия для выращивания полевых культур складываются в северо-западном и центральном агроклиматических районах области.

Эффективность хозяйственной деятельности КФХ оценивали по некоторым факториальным и результативным показателям: общая и посевная площадь хозяйства (га), урожайность полевых культур (т/га), число работников из расчета на 100 га общей площади, стоимость основных производственных фондов (тыс. руб. / 100 га), денежно-материальные затраты на получение продукции (тыс. руб. / 100 га), кадастровая стоимость сельскохозяйственных угодий (тыс. руб. / га), стоимость валовой продукции (млн руб.), ежегодный чистый доход от производства (тыс. руб. / 100 га) и др. (см.: Центральная база статистических данных, 2013). Дополнительно проводили статистическую обработку исходного материала с использованием сочетания методов многомерного анализа [3], [4], реализованных в пакете программы STATISTICA. Применение иерархического факторного анализа (метод максимального правдоподобия) обеспечило группировку муниципальных районов (объектов) в факторном пространстве и оценку структуры взаимосвязей между вышеуказанными показателями (переменными), привлечение кластерного анализа (метод Варде, Евклидово расстояние) – характеристику выделенных групп районов по отдельным переменным, а пошагового дискриминантного – подтверждение корректности подобной группировки и определение дискриминаторов, достоверно разделяющих объекты на группы [2].

По итогам анализа факториальных и результативных данных (табл. 1, 2) выделен северо-западный агроклиматический район, характеризующийся наибольшими показателями общей и посевной площади. На фоне высокого балла бонитета почв получены максимальные значения урожайности зерновых культур и подсолнечника. При этом отмечено увеличение себестоимости продукции растениеводства (например, зерновых культур – 2291 руб. / т) и стоимости основных производственных фондов (258,2…457,4 тыс. руб. / 100 га).

В фермерских хозяйствах центрального агроклиматического района, где установлен наибольший удельный вес пашни в структуре сельскохозяйственных угодий, отмечены более низкие значения урожайности зерновых культур (1,9…4,1 т/га) и подсолнечника (1,3…2,4 т/га), а также валового производства (2513,0…11368,1 тыс. руб. / 100 га).

В юго-восточном агроклиматическом районе, несмотря на минимальный балл бонитета почв,

Таблица 1

Факториальные показатели использования сельскохозяйственных земель в фермерских хозяйствах

Агроклиматический район	Общая площадь хозяйств, тыс. га	Удельный вес пашни в структуре сельскохозяйственных угодий, %	Посевная площадь, тыс. га	Балл бонитета пашни	Стоимость основных фондов на 100 га сельскохозяйственных угодий, тыс. руб.
Северо-западный (I)	67,6	85,1	54,3	72,7	360,2
Центральный (II)	44,6	90,4	31,9	67,5	247,0
Юго-восточный (III)	41,6	87,8	26,9	64,1	193,0
По области	153,8	87,4	113,2	68,1	286,0

Таблица 2

Результативные показатели использования сельскохозяйственных земель в фермерских хозяйствах

Агроклиматический район	Урожайность, т/га			Валовое производство, тыс. руб. на 100 га площади хозяйства	Себестоимость производства продукции, руб. / т		
	зерновые	подсолнечник	сахарная свекла		зерновые	подсолнечник	сахарная свекла
Северо-западный (I)	3,2	1,8	29,1	5685,8	2291	3752	1715
Центральный (II)	2,6	1,7	32,8	4621,9	2106	3525	1612
Юго-восточный (III)	2,7	1,7	34,1	7284,7	1987	3328	1522
По области	2,9	1,8	31,3	5864,1	2128	3532	1616

получены максимальные значения урожайности сахарной свеклы (23,4…42,5 т/га) и валового выхода продукции растениеводства в стоимостном выражении (4378,3…12055,6 тыс. руб. / 100 га). При этом низкая стоимость основных фондов на 100 га сельскохозяйственных угодий обусловила минимальные показатели себестоимости выращиваемых культур.

Результаты обработки данных с привлечением иерархического факторного анализа выявили наличие четырех косоугольных факторов (F_1… F_4) первого порядка. По знакам и максимальным значениям факторных нагрузок F_1 установлено однонаправленное изменение площади фермерского хозяйства (0,94), общей посевной площади (0,98) и площади, занятой под зерновыми культурами (0,88). По значениям нагрузок F_2 предположили, что в общей стоимости валовой продукции (0,94) наибольшая доля приходилась на выращивание сахарной свеклы (площадь посева – 0,94, урожайность – 0,46). Фактор F_3 установил тесную связь стоимости основных производственных фондов (0,82), кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий (0,45) с урожайностью зерновых культур (0,77). Согласно F_4 денежно-материальные затраты (0,47) на получение продукции возрастали с увеличением числа работников (0,38), занятых в растениеводстве.

На основе определения корреляционных связей между вышеуказанными факторами получена матрица взаимокорреляций F_1…F_4. Наличие средней связи между F_3 и F_4 (коэффициент корреляции 0,31) обусловило возможность выделения одного некоррелирующего (независимого) фактора второго порядка $Ф_1$ [0,56 $У_{зерн.}$ + 0,51 $С_{о.п.ф.}$ – 0,47 $S_{подсолн.}$], согласно которому рост урожайности зерновых культур ($У_{зерн.}$) связан с увеличением стоимости основных производственных фондов на 100 га общей площади хозяйства ($С_{о.п.ф.}$) и сокращением площади посева, занятой подсолнечником ($S_{подсолн.}$).

С использованием сочетания факторного и кластерного анализов получено три группы районов (рисунок). Районы первой группы – Белгородский, Борисовский, Грайворонский, Ивнянский, Ракитянский, Яковлевский (северо-западный агроклиматический район) и Шебекинский (центральный район) – отличались наибольшими средними показателями общей площади фермерского хозяйства (в среднем 8143,6 га), общей посевной площади (7089,4 га), урожайности зерновых (3,6 т/га), подсолнечника (1,9 т/га), стоимости основных производственных фондов (420,5 тыс. руб. / 100 га), кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий (38163,4 руб. / га) и наименьшими значениями площади посева подсолнечника (499,2 га), урожайности сахарной свеклы (27,1 т/га).

Вторая группа, включающая Краснояружский (северо-западный район), Красненский, Красногвардейский (центральный район), Алексеевский, Валуйский, Вейделевский, Волоконовский, Ровеньский (юго-восточный район) районы, выделилась максимальными средними показателями площади посева (906,0 га) и урожайности (34,2 т/га) сахарной свеклы, валовой продукции сельскохозяйственного производства (73,9 млн руб.), минимальными значениями общей посевной площади (5887,3 га), посевной площади (3228,3 га) и урожайности (2,5 т/га) зерновых культур, стоимости основных

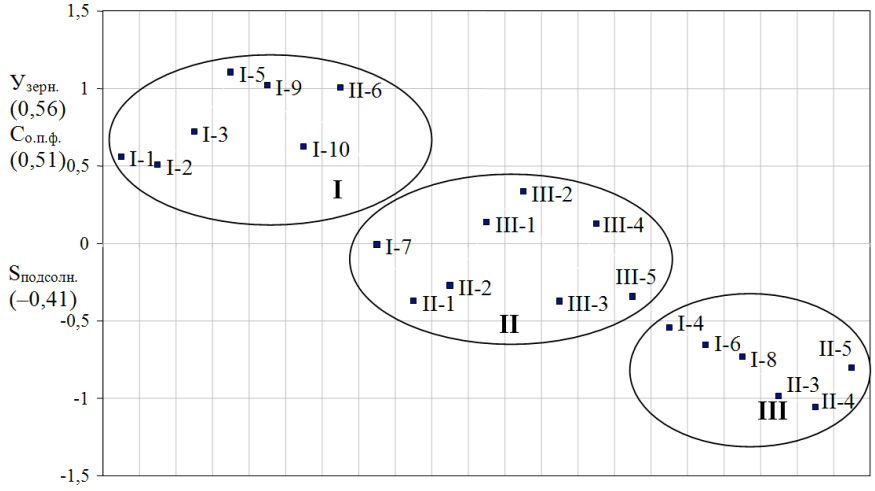
производственных фондов (198,4 тыс. руб. / га), числа работников (3 чел.), занятых в сельскохозяйственном производстве на 100 га общей площади хозяйства, денежно-материальных затрат на производство сельскохозяйственной продукции (950,3 тыс. руб. / 100 га), кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий (в среднем 32941,6 руб. / га), а также ежегодным убытком от сельскохозяйственного производства (–3,3 тыс. руб. / 100 га).

Третья группа районов, включающая Губкинский, Корочанский и Прохоровский (северо-западный район), Новооскольский, Старооскольский, Чернянский (центральный район), характеризовалась наибольшими средними показателями посевной площади зерновых культур (6071,9 га) и подсолнечника (2350,0 га), числа работников (4 чел.), занятых в сельскохозяйственном производстве на 100 га общей площади хозяйства, денежно-материальных затрат на производство сельскохозяйственной продукции (2634,1 тыс. руб. / 100 га) и ежегодного чистого дохода сельскохозяйственного производства (25,6 тыс. руб. / 100 га). Наряду с этим для третьей группы районов выявлены низкие значения общей площади хозяйства (7787,7 га), площади посева сахарной свеклы (423,8 га), валовой продукции сельскохозяйственного производства в денежном выражении (68,5 млн руб.).

Результаты полученной группировки подтверждены на 100 % дискриминантным анализом. Основными дискриминаторами, достоверно разделяющими районы на группы, явились (в представленной последовательности): стоимость основных производственных фондов на 100 га общей площади хозяйства, посевная площадь зерновых культур, общая площадь хозяйства и посевная площадь подсолнечника.

Таким образом, группировка муниципальных районов по комплексу факториальных и результативных показателей с привлечением методов многомерного статистического анализа выявила в отдельных случаях несоответствие распределения муниципальных районов агроклиматическому районированию. Несмотря на это, районы, попавшие в одну группу, в основном объединены территориально. Большинство районов северо-западной части Белгородской области отличаются более высокими показателями урожайности подсолнечника и зерновых культур при меньшей площади пашни, отведенной для их выращивания. Фермерские хозяйства юго-востока области, специализирующиеся на возделывании сахарной свеклы, убыточны. В КФХ центральной части преимущественно сосредоточены площади посева зерновых культур, подсолнечника и получена максимальная прибыль.

На основе изучения опыта использования пахотных земель в фермерских хозяйствах Белгородской области установлено, что для наибольшего экономического эффекта сельскохозяйственного производства в любом регионе страны целесообразно оптимизировать структуру посевов в каждом хозяйстве как с учетом биологических требований культурных растений и агроклиматического районирования, так и территориального расположения, организационно-экономических показателей и т. д.



Расположение муниципальных районов Белгородской области в факторном пространстве по отдельным экономическим показателям возделывания полевых культур в фермерских хозяйствах: $У_{зерн.}$ – урожайность зерновых культур, $S_{подсолн.}$ – площадь, занятая подсолнечником, $С_{о.п.ф.}$ – стоимость основных производственных фондов (на 100 га общей площади хозяйства). Агроклиматические районы: I – северо-западный (1 – Белгородский, 2 – Борисовский, 3 – Грайворонский, 4 – Губкинский, 5 – Ивнянский, 6 – Корочанский, 7 – Краснояружский, 8 – Прохоровский, 9 – Ракитянский, 10 – Яковлевский); II – центральный (1 – Красненский, 2 – Красногвардейский, 3 – Новооскольский, 4 – Старооскольский, 5 – Чернянский, 6 – Шебекинский); III – юго-восточный (1 – Алексеевский, 2 – Валуйский, 3 – Вейделевский, 4 – Волоконовский, 5 – Ровеньский)

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев Г. Н., Волошенко И. В. Агроклиматическое районирование территории Белгородской области / Белгородский государственный университет. Белгород, 2010. С. 27–31.
2. Иванов Н. И., Евстратова Л. П., Николаева Е. В. Эффективность использования пахотных земель в сельскохозяйственных организациях // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2013. № 4 (133). С. 61–65.
3. Ким Дж.-О., Мьюллер П. У., Клекка У. Р., Олдендерфер М. С., Блэшфилд Р. К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансовая статистика, 1989. 215 с.
4. Факторный анализ (подход с использованием ЭВМ): Методическое пособие / Сост. В. Н. Харин. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1992. 190 с.

Ivanov N. I., State Land Development University of Moscow (Moscow, Russian Federation)
Evstratova L. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Nikolaeva E. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

REVISITING THE SYSTAINABLE UTILIZATION OF CROPLANDS IN THEPRIVATE FARMS

In the course of the latest land reform, when redistributing agricultural lands between land owners and land users, some specific forms of economic management have emerged, namely the so-called Peasant Farm Holdings (PFH). To a large extent, the operational efficiency of PFH is defined by the chosen production specialization. The goal of this paper is to study the PFH operation of Belgorodskaya oblast in order to disseminate it in other regions of Russia. The study was made on the base of a comparative analysis of PFH operation within the range of 21 municipal districts, taking into account some factorial and performance criteria and agro-climatic regional assignment with the use of multivariative statistical analysis methods. It was revealed that most of the regions of the North-Western part of the Belgorodskaya oblast are notable for higher index sunflowers and grain-crops harvest grown on a smaller allocated arable acreage. The farm businesses, located in the South-Eastern part of the district and specialized on growing sugar beet, are unprofitable. Centrally located peasant farm holdings mostly focus on planting grain-crops and sunflowers, and these operations resulted in maximum profitability. Consequently, it was established that taking the Belgorodskaya oblast as an example, the peasant farms should locate arable acreage rationally, taking into consideration biological plant needs, agro-climatic zoning, territorial location of municipal regions, organizational-economic criteria, etc.

Key words: croplands, agro-climatic areas, farm holding

REFERENCES

1. Grigor'ev G. N., Voloshenko I. V. *Agroklimaticheskoe rayonirovanie territorii Belgorodskoy oblasti* [Agroclimatic Zoning in the Belgorod Oblast]. Belgorod, 2010. P. 27–31.
2. Ivanov N. I., Evstratova L. P., Nikolaeva E. V. Efficiency of Using Croplands in the Agricultural Enterprises [Effektivnost' ispol'zovaniya pakhotnykh zemel' v sel'skokhozyaystvennykh organizatsiyakh]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2013. № 4 (133). P. 61–65.
3. Kim Dzh.-O., M'uyller P. U., Klekka U. R., Oldenderfer M. S., Bleshfild R. K. *Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz* [Factor, Discriminant, and Cluster Analysis]. Moscow, Finansovaya statistika Publ., 1989. 215 p.
4. *Faktornyy analiz (podkhod s ispol'zovaniem EVM)* [Factor Analysis (IBM approach)]. Petrozavodsk, KarNC RAN Publ., 1992. 190 p.

Поступила в редакцию 21.10.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Технические науки** **2014**

УДК 630.2

АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ ПИТУХИН
доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
pitukhin@psu.karelia.ru

ИГОРЬ ГЕННАДЬЕВИЧ СКОБЦОВ
кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
iskobtsov@mail.ru

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ROPS ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ КАТАСТРОФЫ СБОРКИ*

Работа посвящена оценке показателей надежности машин с позиций теории катастроф. В первой части статьи приведена теория катастрофы сборки, при этом параметры управления рассмотрены как случайные величины, распределенные по нормальному закону. Во второй части проанализирована возможность применения катастрофы сборки для проектирования элементов конструкций технологических машин и оборудования на примере ROPS (устройства защиты оператора при опрокидывании) колесного лесопромышленного трактора (скиддера). Для определения параметров распределения случайных величин (математических ожиданий и дисперсий) использован метод статистической линеаризации. Полученные аналитические зависимости дают возможность определения величины поглощенной энергии деформирования, а также оценки вероятности безотказной работы и вероятности отказа (вероятности катастрофы сборки). Предложенный подход позволяет произвести статистический анализ положений равновесия вблизи критических точек. Полученные зависимости могут быть применены для оценки вероятности безотказной работы различных элементов конструкций машин и оборудования с позиций теории катастроф.

Ключевые слова: теория катастроф, катастрофа сборки, показатели надежности, проектирование, устройство защиты при опрокидывании

ВВЕДЕНИЕ

Теория катастроф как раздел математики начала формироваться еще в середине XX века на основе теории особенностей гладких отображений и теории динамических систем. Основоположниками современной теории катастроф являются французский математик Р. Том и российский математик В. И. Арнольд. Катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий.

Одной из семи элементарных катастроф, по Р. Тому [8], является катастрофа сборки, потенциальная функция которой определяется

$$V_{ab}(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ax^2 + bx\,, \qquad (1)$$

где x – переменная состояния; a, b – переменные управления.

Многообразие M катастрофы задается уравнением

$$0 = \frac{d}{dx}V_{ab}(x) = x^3 + ax + b\,, \qquad (2)$$

которое имеет от одного до трех вещественных корней. Природа этих корней зависит от дискриминанта

$$D = 4a^3 + 27b^2\,. \qquad (3)$$

Катастрофа происходит, когда дискриминант D меняет знак с отрицательного на положительный [8].

Полагаем, что изменения управляющих переменных являются случайными. В качестве случайных величин или случайных функций [4], [9] можно представить нагрузку, геометрические характеристики, параметры прочности, механические свойства материалов и т. д. Очевидно, что вследствие разброса возможных значений конструкции будут работать с более или менее редкими перегрузками [1]. Поэтому определенный интерес представляет изучение вопросов проектирования элементов конструкций технологических машин с позиций теории катастроф с учетом стохастической природы возмущающих факторов.

В работе А. В. Питухина [3] для оценки вероятности катастрофы сборки предложен метод статистической линеаризации для случая, когда управляющие переменные являются случайными величинами. Тогда оценки математического ожидания и дисперсии дискриминанта D определяются

$$\overline{D} = 4\overline{a}^3 + 27\overline{b}^2\,; \qquad (4)$$

© Питухин А. В., Скобцов И. Г., 2014

$$\sigma_D^2 = \left(\frac{\partial \bar{D}}{\partial \bar{a}}\right)^2 \sigma_a^2 + \left(\frac{\partial \bar{D}}{\partial \bar{b}}\right)^2 \sigma_b^2 = \\ = 144\bar{a}^{-4}\sigma_a^2 + 2916\bar{b}^2\sigma_b^2, \quad (5)$$

где $\bar{a}$, $\bar{b}$ – математические ожидания управляющих переменных; σ_a^2, σ_b^2 – дисперсии управляющих переменных.

С помощью данных зависимостей была получена возможность оценки вероятности безотказной работы элементов конструкций технологических машин и оборудования. Весьма важной является задача оценки энергии деформирования элементов конструкций вплоть до их разрушения, особенно это касается защитных каркасов кабин лесопромышленных тракторов [5], [6].

ПРИМЕР ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА КАБИНЫ ТРАКТОРА

Рассмотрим случай бокового нагружения кабины, имитирующего опрокидывание колесного лесопромышленного трактора (скиддера) ТЛК-4-01. Согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 8082-1-2012, самоходные машины для леса должны оборудоваться устройствами защиты при опрокидывании (ROPS – roll-over protective structures), снижающими риск нанесения травм оператору в случае возникновения аварийной ситуации путем поглощения энергии деформирования элементов [6]. В нашем случае система ROPS представляет собой замкнутый защитный каркас (пояс), расположенный в поперечной плоскости симметрии кабины и имеющий две болтовых опоры крепления к раме трактора. В случае возникновения аварийной ситуации основные нагрузки будут восприниматься защитным каркасом и болтом его крепления к несущей раме (рис. 1). Система ROPS при этом должна поглотить энергию деформации не менее

$$U_S = 12500 \cdot \left(\frac{m}{10000}\right)^{1,25},$$

где m – масса машины, m = 14500 кг.

Тогда

$$U_S = 12500 \cdot \left(\frac{14500}{10000}\right)^{1,25} = 19890 \text{ Дж}.$$

Вариант 1 (в качестве переменной состояния x – абсолютная деформация болта крепления).

Защитный каркас заменим эквивалентной пружиной с жесткостью A_1 и деформирующей силой F. Болт представим в виде стержня, в процессе растяжения испытывающего упругопластические деформации. Таким образом, получаем условную схему нагружения, энергетически эквивалентную исходной (см. рис. 1).

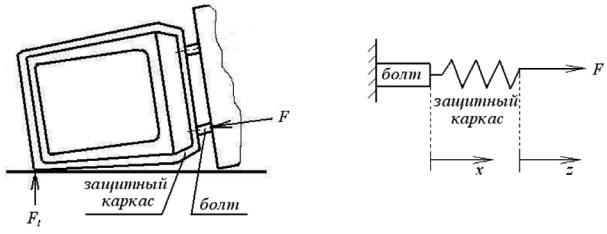


Рис. 1. Схема нагружения кабины трактора

Представим сопротивление стержня растяжению в виде зависимости:

$$F(x) = A_2 x - C_2 x^3, \quad (6)$$

где $F(x)$ – нагрузка; x – абсолютная деформация стержня; A_2, C_2 – эмпирические коэффициенты.

Полная диаграмма растяжения стержня, описываемая зависимостью (6), представлена на рис. 2. Такие полные диаграммы деформирования (с падающей ветвью) могут быть получены на испытательных установках с большой жесткостью.

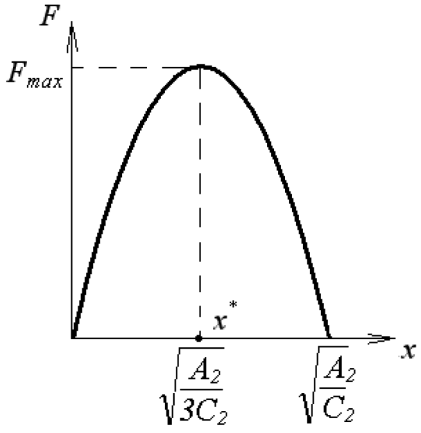


Рис. 2. Полная диаграмма деформирования стержня

Полная потенциальная энергия системы складывается из энергий деформирования эквивалентной пружины (ROPS) и стержня (болта)

$$U = U_{ROPS} + U_б.$$

Энергия деформирования ROPS

$$U_{ROPS} = \frac{1}{2} P \cdot (z - x),$$

где P – сила сопротивления деформации эквивалентной пружины с жесткостью A_1, $P = A_1 \cdot (z - x)$; z – полная деформация.

Энергия деформирования стержня (болта)

$$U_б = \int_0^x F(x)dx = \int_0^x \left(A_2 x - C_2 x^3\right)dx = \frac{A_2 x^2}{2} - \frac{C_2 x^4}{4}.$$

Следовательно, полная энергия

$$U = \frac{1}{2} A_1 (z - x)(z - x) + \frac{A_2 x^2}{2} - \frac{C_2 x^4}{4},$$

после преобразований

$$U = -\frac{C_2 x^4}{4} + \frac{(A_1 + A_2)x^2}{2} - A_1 xz + \frac{A_1 z^2}{2}.$$

Отсюда

$$\frac{dU}{dx} = -C_2 x^3 + (A_1 + A_2)x - A_1 z.$$

Полученное выражение аналогично выражению (1), описывающему катастрофу сборки. Поверхность равновесия M определяется уравнением производной $dV_{ab}(x)/dx$ (2), коэффициенты в котором определяются:

$$a = -\frac{A_1 + A_2}{C_2}; \quad (7)$$

$$b = \frac{A_1 z}{C_2}. \quad (8)$$

Допустим, что A_1, A_2, C_2, z – случайные величины с математическими ожиданиями $\bar{A}_1$, $\bar{A}_2$, $\bar{C}_2$, $\bar{z}$ и дисперсиями σ^2_{A1}, σ^2_{A2}, σ^2_{C2}, σ^2_z. Согласно методу статистической линеаризации

$$\bar{a} = -\frac{\bar{A}_1 + \bar{A}_2}{\bar{C}_2}; \sigma_a^2 = \frac{1}{\bar{C}_2^2}\left[\sigma^2_{A1} + \sigma^2_{A2} + \left(\frac{\bar{A}_1 + \bar{A}_2}{\bar{C}_2}\right)^2 \sigma^2_{C2}\right]; \quad (9)$$

$$\bar{b} = \frac{\bar{A}_1 \bar{z}}{\bar{C}_2}; \ \sigma_b^2 = \frac{1}{\bar{C}_2^2}\left[\bar{z}^2\sigma^2_{A1} + \bar{A}_1^2\sigma_z^2 + \left(\frac{\bar{A}_1 \bar{z}}{\bar{C}_2}\right)^2 \sigma^2_{C2}\right]. \quad (10)$$

Численное решение задачи целесообразно осуществить в следующем порядке: определить жесткость A_1 эквивалентной пружины, оценить коэффициенты A_2 и C_2 в полной диаграмме деформирования (6), задать значения средних квадратических отклонений коэффициентов A_1, A_2 и C_2.

Численное значение жесткости A_1 эквивалентной пружины целесообразно определять методом конечных элементов. В работе [3] расчет был произведен с использованием пакета прикладных программ «Зенит».

Определим коэффициенты A_2 и C_2 в полной диаграмме растяжения стержня. Для этого пересчитаем F_{max} и x^* для стержня, моделирующего болт, через предел прочности σ_B и относительное удлинение δ соответствующей стали.

Для стали 30, согласно справочным материалам, $\sigma_B = 500$ МПа, $\delta = 20$ %. При диаметре стержня $d = 30$ мм и длине $l = 100$ мм максимальная разрушающая стержень нагрузка и соответствующее ей абсолютное удлинение определятся:

$$F_{\max} = \frac{\pi d^2}{4}\sigma_B = 353000 \text{ Н}; \ x^* = l \cdot \frac{\delta}{100} = 20 \text{ мм}.$$

Подставляя численные значения F_{max} и x^* и решая систему уравнений

$$\begin{cases} x^* = \sqrt{\dfrac{A_2}{3C_2}} \\ F_{\max} = A_2 x^* - C_2 x^{*3}, \end{cases}$$

получим $A_2 = 26500$ Н/мм, $C_2 = 22{,}1$ Н/мм^3.

Значения A_1, A_2 и C_2 полагаем случайными величинами с математическими ожиданиями, подсчитанными выше. Таким образом, численные значения задаем в следующем виде [7]:

$$\bar{A}_2 = 26500 \text{ Н/мм}, \ \bar{C}_2 = 22{,}1 \text{ Н/мм}^3,$$

$$\sigma_{A2} = 2650 \text{ Н/мм},$$

$$\sigma_{C2} = 2{,}21 \text{ Н/мм}^3, \ \sigma_{A1} = 0{,}1 \cdot \bar{A}_1.$$

Оценка критических значений нагрузки и энергии деформирования.

Определим критические значения нагрузки и энергии деформирования при условии монотонного увеличения z от 0 до наступления катастрофы. Значение переменной b, соответствующее скачку, определим из условия $D = 0$ с учетом зависимостей (3) и (7)

$$b = \frac{2}{3} \cdot \frac{A_1 + A_2}{C_2}\sqrt{\frac{A_1 + A_2}{3 \cdot C_2}}. \quad (11)$$

Критическое значение полной деформации получим с использованием зависимостей (8) и (11)

$$z_c = \frac{b \cdot C_2}{A_1} = \frac{2}{3}\frac{A_1 + A_2}{A_1}\sqrt{\frac{A_1 + A_2}{3 \cdot C_2}}. \quad (12)$$

Учитывая, что $a = -3x_C^2$ [10], определим абсолютную деформацию, соответствующую разрушению защитного устройства

$$x_c = \sqrt{\frac{A_1 + A_2}{3 \cdot C_2}}. \quad (13)$$

Тогда критическая нагрузка с учетом (6) и (13)

$$F_c = A_2 \cdot x_c - C_2 \cdot x_c^3 = \frac{2A_2 - A_1}{3} \cdot \sqrt{\frac{A_1 + A_2}{3 \cdot C_2}} \quad (14)$$

и критическая энергия деформирования с учетом (12)–(14)

$$U_c^I = \frac{(A_1 + A_2)^2}{6 \cdot C_2} \cdot \left(\frac{(2A_2 - A_1)^2}{9A_1} + \frac{5A_2 - A_1}{6}\right). \quad (15)$$

Вариант 2 (в качестве переменной состояния x – абсолютная деформация ROPS).

Как отмечается в ГОСТ Р ИСО 8082-1-2012, боковое нагружение ROPS с большой вероятностью приводит к появлению остаточных деформаций. В связи с этим представляет определенный интерес исследование защитных свойств пояса безопасности с учетом его пластических деформаций.

Систему ROPS представим в виде бруса, который в случае возникновения аварийной ситуации будет испытывать упруго-пластические деформации (рис. 3).

Полная потенциальная энергия для данного варианта запишется в виде

$$U = U_{б.} + U_{ROPS} = \int_0^{\Delta l} P(\Delta l)\, d\Delta l + \int_0^{x} F_t(x) dx ,$$

где $P(\Delta l)$, Δl – сила сопротивления деформации и абсолютное удлинение стержня; $F_t(x)$, x – сила сопротивления и абсолютная деформация ROPS.

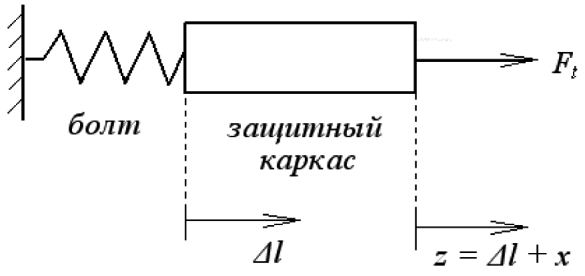


Рис. 3. Эквивалентная схема нагружения с учетом пластических деформаций ROPS

Тогда

$$U = \int_0^{\Delta l} \left(A_2\Delta l - C_2\Delta l^3\right) d\Delta l + \int_0^{x} \left(A_1 x + C_1 x^3\right) dx =$$

$$= \frac{A_2\Delta l^2}{2} - \frac{C_2\Delta l^4}{4} + \frac{A_1 x^2}{2} - \frac{C_1 x^4}{4} .$$

Второй член в полученном выражении можно не учитывать ввиду незначительности его величины. Коэффициенты A_1 и C_1 определяются по диаграмме деформирования ROPS, построенной по аналогии с диаграммой деформирования стержня (представлена на рис. 2) при допущении достижения ROPS зоны DLV (DLV – deflection limiting volume – зона, соответствующая предельной деформации) при критической нагрузке F_{max} = 116 кН [5].

Отсюда с учетом $z = x + \Delta l$

$$U = -\frac{C_1 x^4}{4} + \frac{(A_1 + A_2)x^2}{2} - A_2 zx + \frac{A_2 z^2}{2}$$

и

$$\frac{dU}{dx} = -C_1 x^3 + (A_1 + A_2)x - A_2 z .$$

Полученные выражения также соответствуют выражениям (1) и (2), описывающим катастрофу сборки с переменными управления

$$a = -\frac{A_1 + A_2}{C_1} ;$$

$$b = \frac{A_2 z}{C_1} ,$$

но в качестве переменной состояния x в данном случае выступает абсолютная деформация ROPS.

Критическая энергия деформирования (по аналогии с (15))

$$U_c^{II} = \frac{(A_1 + A_2)^2}{6 \cdot C_1} \cdot \left(\frac{(2A_1 - A_2)^2}{9A_2} + \frac{5A_1 - A_2}{6} \right) . \quad (16)$$

Результаты расчета энергии деформирования по формулам (15) и (16) представлены на рис. 4. Таким образом, расчет системы ROPS без учета пластического течения материала позволяет удовлетворить требованиям ГОСТ только при небольших значениях жесткости.

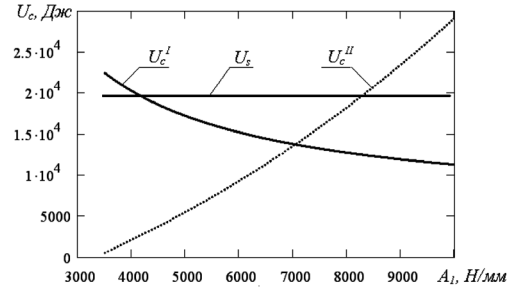


Рис. 4. Графики зависимости критической энергии деформирования от жесткости ROPS: U_c^I – вариант 1; U_c^{II} – вариант 2; U_s – нормативное значение

Оценка вероятности безотказной работы.

Оценим математическое ожидание и дисперсию поглощенной энергии с помощью метода статистической линеаризации

$$\bar{U}_c = \frac{\left(\bar{A}_1 + \bar{A}_2\right)^2}{6 \cdot \bar{C}_1} \cdot \left(\frac{\left(2\bar{A}_1 - \bar{A}_2\right)^2}{9\bar{A}_2} + \frac{5\bar{A}_1 - \bar{A}_2}{6} \right) ; \quad (17)$$

$$\sigma_{Uc}^2 = \left(\frac{\partial \bar{U}_c}{\partial \bar{A}_1}\right)^2 \sigma_{A1}^2 + \left(\frac{\partial \bar{U}_c}{\partial \bar{A}_2}\right)^2 \sigma_{A2}^2 + \left(\frac{\partial \bar{U}_c}{\partial \bar{C}_1}\right)^2 \sigma_{C1}^2 . \quad (18)$$

Вероятность безотказной работы представим как вероятность того, что величина энергии деформирования превысит нормативное значение U_S, регламентированное стандартом

$$R = Pr\{U_c > U_S\} = Pr(U_c - U_S > 0).$$

Согласно ГОСТ Р ИСО 8082-1-2012, для ТЛК-4-01 нормативное значение энергии деформирования составляет U_S = 19,8 кДж.

Очевидно, что вероятность отказа

$$Q = 1 - R = 1 - Pr(U_c - U_S > 0). \quad (19)$$

В предположении, что энергия деформирования подчиняется нормальному закону, вероятность отказа может быть выражена

$$Q = \frac{1}{2} - \Phi(\gamma) , \quad (20)$$

где $\Phi(\gamma)$ – функция Лапласа, $\Phi(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\gamma} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ [2]; γ – характеристика безопасности,

$$\gamma = \frac{\bar{U}_c - \bar{U}_S}{\sqrt{\sigma_{Uc}^2 + \sigma_{Us}^2}} . \quad (21)$$

Поскольку нормативное значение U_S задается, как правило, в виде детерминированной величины, то в зависимости (21) можно положить $\sigma^2_{Us} = 0$ и $\bar{U}_S = U_S$. Тогда для варианта, учитывающего пластические деформации ROPS, при расчетных оценках по формулам (17) и (18) $\bar{U}_c$ = 25,96 кДж и σ_{Uc} = 5,9 кДж характеристика безопасности составит γ = 1,029 ($\Phi(\gamma)$ = 0,349 [2]), что соответствует вероятности отказа

$$Q = 0{,}5 - 0{,}349 = 0{,}151.$$

Рассмотренный пример иллюстрирует возможность применения теории катастроф для оценки вероятности безотказной работы элементов конструкций технологических машин и оборудования при проектировании. Предложенный подход позволяет провести статистический анализ положений равновесия вблизи критических точек, что важно для практических целей.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: Книга по требованию, 2013. 312 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.
3. Питухин А. В. Методы теории катастроф при проектировании элементов конструкций машин и оборудования лесного комплекса // Известия вузов «Лесной журнал». 2007. № 2. С. 58–65.
4. Питухин А. В., Скобцов И. Г. Метод оценки вероятности катастрофы сборки для случая, когда управляющие параметры являются случайными функциями // Фундаментальные исследования. 2014. № 1. С. 24–27.
5. Питухин А. В., Скобцов И. Г., Хвоин Д. А. Экспериментальная оценка эффективности защитной рамы кабины колесного трелевочного трактора // Фундаментальные исследования. 2011. № 12. С. 155–157.
6. Питухин А. В., Шиловский В. Н., Скобцов И. Г., Кяльвияйнен В. А. Повышение эксплуатационной технологичности лесозаготовительных машин: Монография. Петрозаводск: Петропресс, 2012. 240 с.
7. Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность. М.: Машиностроение, 1975. 480 с.
8. Том Р. Структурная устойчивость и морфогенез. М.: Логос, 2002. 288 с.
9. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. The Estimation of Reliability Function in Terms of the Catastrophe Theory // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 607. P. 817–820.
10. Poston T., Stewart I. N. Catastrophe Theory and its Applications. N. Y.: Dover Publications, 1996. 491 p.

Pitukhin A. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Skobtsov I. G., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

RELIABILITY EVALUATION OF THE ROPS SYSTEMS FOR THE HARVESTING MACHINES WITH APPLICATION OF THE CUSP CATASTROPHE

The article is devoted to the estimation of reliability measures in terms of the catastrophe theory. The first part of the article considers the cusp catastrophe, where the control parameters are examined as normally disturbed quantities. The second part analyses appliance of the cusp catastrophe for designing elements of the technological machines and equipment in terms of ROPS (Roll-over protection system) of the wheeled skidder ROPS. The statistical linearization method is used to determine the distribution parameters (mean value, dispersion). The achieved analytical equations can be applied to define the quantity of strain energy, and to estimate the reliability function, failure probability (cusp catastrophe probability). This approach enables to carry out statistical analysis of balance near critical points. The obtained expressions can be applied to estimate the reliability function from the perspective of the catastrophe theory.

Key words: catastrophe theory, cusp catastrophe, reliability measures, designing, roll-over protective structure

REFERENCES

1. Bolotin V. V. *Prognozirovanie resursa mashin i konstruktsiy* [Machine and Construction Useful Life Prediction]. Moscow, Kniga po trebovaniyu Publ., 2013. 312 p.
2. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 479 p.
3. Pitukhin A. V. Methods of Catastrophe Theory when Designing Elements of Machines and Equipment of Forest Industry [Metody teorii katastrof pri proektirovanii elementov konstruktsiy mashin i oborudovaniya lesnogo kompleksa]. *Izvestiya vuzov "Lesnoy zhurnal"* [News of Higher Educational Institutions "Forest Journal"]. 2007. № 2. P. 58–65.
4. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. Method of Cusp Catastrophe Probability Estimation With the Stochastic Functions as the Control Parameters [Metod otsenki veroyatnosti katastrofy sborki dlya sluchaya, kogda upravlyayushchie parametry yavlyayutsya sluchaynymi funktsiyami]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental researches]. 2014. № 1. P. 24–27.
5. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G., Khvoin D. A. The Experimental Estimation of Wheeled Skidder Protective Frame Efficiency [Experimental'naya otsenka effektivnosti zashchitnoy ramy kabiny kolesnogo trelevochnogo traktora]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental researches]. 2011. № 12. P. 155–157.
6. Pitukhin A. V., Shilovskiy V. N., Skobtsov I. G., Kyal'viyaynen V. A. *Povyshenie ekspluatatsionnoy tekhnologichnosti lesozagotovitel'nykh mashin* [The Increasing of Exploitation Technological Efficiency of Forest Machines]. Petrozavodsk, 2012. 240 p.
7. Serensen S. V., Kogaev V. P., Shneyderovich R. M. *Nesushchaya sposobnost' i raschety detaley mashin na prochnost'* [Load-carrying Capacity and Machine Element Strength Analysis]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1975. 480 p.
8. Tom R. *Strukturnaya ustoychivost' i morfogenez* [Structural Stability and Morphogenesis]. Moscow, 2002. 288 p.
9. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. The Estimation of Reliability Function in Terms of the Catastrophe Theory // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 607. P. 817–820.
10. Poston T., Stewart I. N. Catastrophe Theory and its Applications. N. Y.: Dover Publ., 1996. 491 p.

Поступила в редакцию 02.04.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Технические науки** **2014**

УДК 630*22

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ МАРКОВ
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного транспорта и геодезии лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vmarkov@psu.karelia.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК*

Рассматривается проблема широкого использования комплексной переработки древесного сырья с целью вовлечения в производство новых видов сырья и материалов. Затрагивается тема возможного появления новых материалов на основе длинноволокнистых фракций древесины, представляет интерес деление древесины отходов лесозаготовок на технологические фрагменты безножевыми способами: сжатием и ударом, а также сам процесс деструкции древесины при поперечном нагружении в малоизученной области. Раскрываются этапы разработки модели процесса разрушения под действием сжимающей нагрузки отходов лесозаготовок поперек волокон. Исследуемые образцы выпиливаются из ветвей и сучьев. Вводятся некоторые допущения: процесс разрушения носит многостадийный характер; образцы однородны по структуре и обладают трансверсальной изотропией; зависимости между напряжениями и деформациями имеют линейный характер до момента возникновения трещины, выражающиеся обобщенным законом Гука; идеализированные образцы имеют форму цилиндра с радиусом окружности в поперечном сечении, равны среднему радиусу образца в его поперечном сечении. Предлагается модель многостадийного разрушения, состоящая из стадий. Первая стадия длится от начала приложения нагрузки к образцу до момента возникновения первой трещины. Вторая – от момента возникновения трещины до момента потери целостности образца. Третья – от момента полного раскрытия первоначальной трещины до момента восприятия нагрузки частицами, переориентировавшимися за это время. Для описания первой стадии автор предлагает использовать математический аппарат теории упругости. Максимальные значения нормальных растягивающих напряжений образуются по направлению диаметра, то есть первичная трещина возникает в этом направлении. Появлению трещины благоприятствуют следующие факторы: наличие сердцевидных лучей, наличие в данном сечении такого элемента строения древесины, как сердцевина (наименее прочный элемент древесины). При математическом исследовании второй фазы автор предлагает использовать методы механики разрушения.

Ключевые слова: отходы лесозаготовок, разрушение, моделирование, стадия

На современном этапе развития лесного комплекса остро встает вопрос о необходимости широкого использования комплексной переработки сырья [6], ресурсосберегающей техники [7], малоотходных и энергосберегающих технологий, вовлечения в производство новых видов сырья и материалов. В связи с возможным появлением принципиально новых материалов на основе длинноволокнистых фракций древесины и соответствующих технологий представляет интерес исследовать деление древесины отходов лесозаготовок на технологические фрагменты безножевыми способами [2]: сжатием и ударом, а также сам процесс деструкции древесины при поперечном нагружении в малоизученной области, так как имеются предпосылки для практического использования деструктурированной древесины в качестве исходного компонента при разработке принципиально новых материалов.

Важное значение на разрушение древесины имеют три составляющих древесного вещества, придающие древесине свойства твердого тела, образованного из клеточных оболочек; воды, находящейся как в клеточных оболочках [4], так и в полостях клеток и сосудов; воздуха, занимающего свободные от воды внутренние полости древесины.

Эти составляющие имеют различную сопротивляемость действию сжимающей нагрузки. Древесное вещество и вода практически несжимаемы. Воздух, содержащийся в древесине, при наличии свободной воды находится в виде пузырьков (эффект Жамена) и является упругим сжимаемым телом. Сжатие воздуха значительно больше, чем древесного вещества и воды, поэтому можно считать, что изменение объема древесины при воздействии объемной деформирующей нагрузки возможно только за счет сжатия паровоздушной смеси.

В случае когда клетки древесины заполнены водой полностью, деформация древесины за счет сжатия клеток и сосудов становится невозможной. Поэтому сближение сжимающих поверхностей будет возможно только за счет сдвигов структурных элементов относительно друг друга, что и требуется для эффективного

© Марков В. И., 2014

безножевого измельчения древесины объемно деформирующей нагрузкой, приложенной в направлении, перпендикулярном волокнам.

Древесина деформируется в результате изменения расстояний между мицеллами. С увеличением влажности древесины сила взаимного притяжения между мицеллами уменьшается, часть пектиновых веществ и гемецеллюлоз, входящих в состав клеточных оболочек (и межклеточного вещества) и склеивающих мицеллы и фибрилы между собой, переходит в раствор, что будет способствовать снижению коэффициента внутреннего трения древесины.

В случае прогрева древесины во влажной среде повышается ее деформативность. При увлажнении древесины происходит перерождение пластической деформации в упругую. Это перерождение протекает особенно интенсивно при одновременном прогреве и увлажнении.

При разработке модели процесса разрушения под действием сжимающей нагрузки отходов лесозаготовок поперек волокон [3] (в нашем случае – образцов, выпиленных из ветвей и сучьев), необходимо сделать некоторые допущения:

1. Процесс разрушения носит многостадийный характер.

2. Образцы однородны по своей структуре и обладают трансверсальной изотропией.

3. Зависимости между напряжениями и деформациями имеют линейный характер до момента возникновения трещины (хрупкое разрушение), показанные обобщенным законом Гука.

4. До момента разрушения образец испытывает плоское напряженное состояние.

5. Будем считать, что условием локального разрушения тела (страгивание трещины) является равенство коэффициента интенсивности напряжений K_I его критическому значению K_{IC}.

6. Идеализированные образцы имеют форму цилиндра с радиусом окружности в поперечном сечении, равным среднему радиусу образца в его поперечном сечении.

Нами предложена модель многостадийного разрушения, идеализированная диаграмма которой представлена на рис. 1.

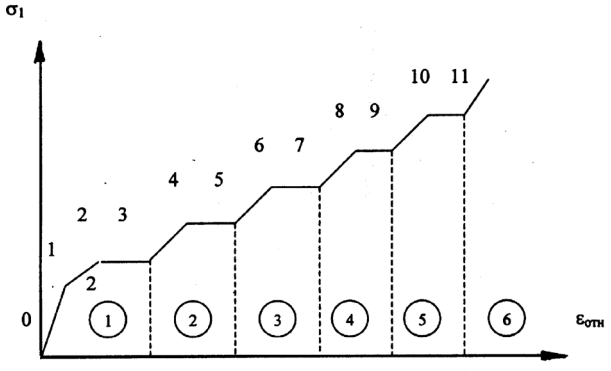


Рис. 1. Идеализированная диаграмма многостадийного процесса разрушения

Обозначения точек соответствуют следующим явлениям:

Точка 1 – момент возникновения трещины;

Точка 2 – момент полного раскрытия трещины;

Точка 3 – момент, когда заканчивается переориентация частиц.

В дальнейшем эти точки последовательно повторяются.

Участки 0–1, 1–2, 2–3 соответствуют первым трем стадиям разрушения, из которых состоит первый цикл (цифра 1 в кружке). Далее стадии последовательно повторяются, составляя последующие циклы разрушения.

Первая стадия длится от начала приложения нагрузки к образцу до момента возникновения первой трещины. Зависимость между напряжениями и деформациями на данной стадии (исходя из сделанных допущений) можно описать, используя математический аппарат теории упругости.

Для определения напряжений в произвольной точке М воспользуемся решением аналогичной задачи в теории упругости [1]. Круглая пластина (форма поперечного сечения образца близка к окружности с диаметром d), толщина которой равна единице, сжимается двумя силами P, направленными по ее диаметру O_1O_2 (рис. 2).

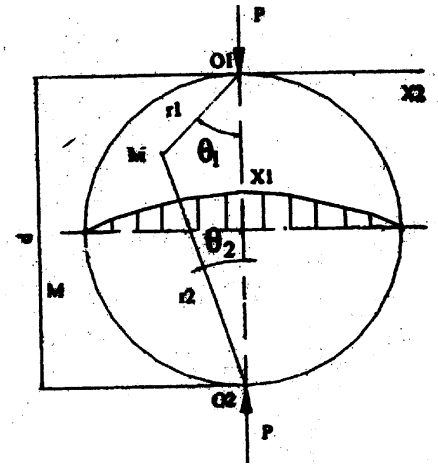


Рис. 2. Схема приложения нагрузки к образцу и эпюра растягивающих напряжений (первая стадия)

Формулы для определения напряжений в произвольной точке М, полярные координаты которой относительно диаметра O_1O_2 составляют значения углов Q_1 и Q_2 и радиусов r_1 и r_2, выглядят следующим образом:

$$\sigma_{11} = -\frac{2P}{\pi}\left(\frac{\cos^3 Q_1}{r_1} - \frac{\cos^3 Q_2}{r_2} - \frac{1}{d}\right),$$

$$\sigma_{22} = -\frac{2P}{\pi}\left(\frac{\sin^2 Q_1 \cos Q_1}{r_1} + \frac{\sin^2 Q_2 \cos\ Q_2}{r_2} - \frac{1}{d}\right), \quad (1)$$

$$\tau_{12} = -\frac{2P}{\pi}\left(\frac{\sin\ Q_1 \cos^2 Q_1}{r_1} + \frac{\sin\ Q_2 \cos^2 Q_2}{r_2} - \frac{1}{d}\right).$$

Анализируя вышеприведенные формулы, необходимо отметить, что максимальные значения нормальных растягивающих напряжений принимают по направлению диаметра $O_1 O_2$ (см. рис. 2), то есть первичная трещина возникнет в этом сечении.

Необходимо также отметить, что в данном направлении (растяжение поперек волокон) древесина обладает наименьшей прочностью.

После определения напряжений в произвольной точке осуществляем пересчет полученных напряжений к главным по следующим формулам:

$$\sigma_1 = 0{,}5\left[(\sigma_{11}+\sigma_{22})+\sqrt{(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2+4r_{12}^2}\right],$$
$$\sigma_2 = 0{,}5\left[(\sigma_{11}+\sigma_{22})-\sqrt{(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2+4r_{12}^2}\right], \quad (2)$$

где σ_{11} , σ_{22} – напряжение в произвольной точке М; r_1 , r_2 – радиусы произвольной точки М.

Появлению трещины благоприятствуют следующие моменты:

– наличие сердцевинных лучей (разрыв слабых клеток сердцевинного луча в поперечном направлении);

– наличие в данном сечении такого элемента строения древесины, как сердцевина, обладающая рыхлой структурой и являющаяся наименее прочным элементом строения древесины.

При разной температуре прочность изменяется в зависимости от влажности. Связь между температурой и прочностью древесины выражается формулой:

$$\sigma = -at + b, \quad (3)$$

где a, b – постоянные от пород и вида напряжений; t – температура.

Таким образом, для перехода остаточной деформации в упругую необходима влага; нагрев древесины при наличии значительного количества связанной влаги в ней является своеобразным катализатором этого процесса.

Вторая стадия длится от момента возникновения трещины (рис. 3) до момента потери целостности образца или до момента полного раскрытия трещины. Эпюра напряжений в зависимости от расстояния приведена на рис. 3.

Здесь необходимо отметить роль первичного дефекта. За такой дефект в древесине ветвей и сучьев можно принять элемент их строения – сердцевину.

При математическом описании данной стадии применяем методы механики разрушения [5].

Для распространения трещины отрыва необходимо, чтобы выполнялось условие $K_I \geq K_{IC}$ (коэффициент интенсивности напряжений K_I был больше или равен его критическому значению K_{IC}).

Данные по коэффициенту интенсивности напряжений K_I применительно к отходам лесозаготовок (ветвям и сучьям) в справочной литературе и литературных источниках нам не встречались, поэтому определяем их экспериментальным путем.

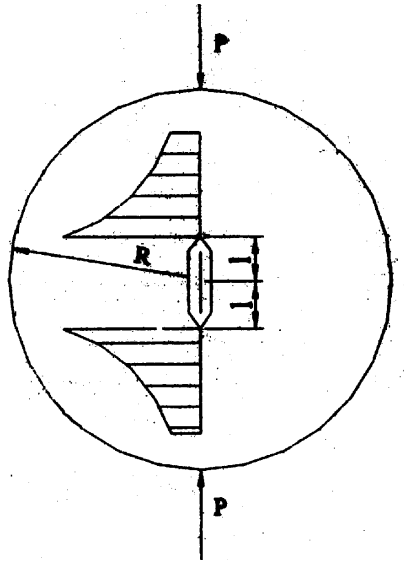


Рис. 3. Схема образца с центральной трещиной на сжатие вдоль диаметра (вторая стадия)

При экспериментальном определении критического коэффициента интенсивности напряжений требуется определить критическое напряжение, при котором начинается лавинообразный рост трещины, также необходимо узнать длину начальной трещины.

Зная критическое растягивающее напряжение и длину трещины, критический коэффициент интенсивности напряжений можно определить по следующей формуле:

$$K_{IC} = Y(L)\sigma_1^{(2)}\sqrt{nl}, \quad (4)$$

где $Y(L)$ – функция, зависящая от геометрической формы образца и длины трещины; $\sigma_1^{(2)}$ – действующее напряжение растяжения в точке 2 (см. рис. 1), которое раскрывает трещину; l – длина (полудлина) трещины.

При математическом описании модели на второй стадии необходимо знать и относительную деформацию, при которой произойдет полное раскрытие трещины. Эти данные также требуют экспериментального определения.

В конце второй стадии образуются два сегмента, которые начинают воспринимать сжимающую нагрузку. Разрушение этих сегментов будет происходить также от максимальных растягивающих напряжений.

Нормальные напряжения можно рассчитать методом конечных элементов.

Третья стадия длится от момента полного раскрытия первоначальной трещины до момента восприятия нагрузки частицами, переориентировавшимися за это время. Для этой стадии характерно постоянство напряжения, то есть увеличивается только деформация. В качестве моделей, описывающих разрушение образца на

третьей стадии первого цикла, нами предложены идеализированные модели, учитывающие геометрические параметры образца.

Для первой модели будем считать, что в момент окончания переориентации частиц они примут форму прямоугольника (рис. 4) с шириной *b*, равной радиусу первоначального образца, то есть получим две частицы шириной *b*, равной радиусу *R* первоначального образца. При этом полагаем, что сумма площадей данных прямоугольников равна площади поперечного сечения идеализированного образца, то есть площади окружности с радиусом *R*.

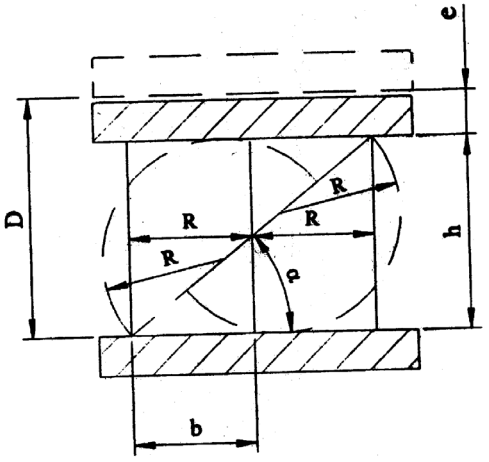


Рис. 4. Частицы, получаемые на третьей стадии (первая модель)

Для того чтобы определить абсолютную деформацию *e*, необходимо найти высоту прямоугольников *h*, исходя из равенства площадей:

$$h = \frac{\pi R^2}{2R} = 1{,}571R\,. \qquad (5)$$

Получаем, что абсолютная деформация в конце третьей стадии равна разности высоты прямоугольника *h* и диаметра *D*. Относительная деформация будет равна отношению абсолютной деформации к диаметру и с учетом предыдущей формулы составит:

$$\varepsilon_{отн} = \frac{h - D}{D} = -0{,}215\,. \qquad (6)$$

Знак «–» в этой формуле означает, что относительная деформация является деформацией сжатия.

Также нами предложена еще одна идеализированная модель, но в ней частицы после разрушения принимают форму, близкую к окружности, и их площади поперечного сечения будут равны половине первоначальной площади поперечного сечения образца.

В процессе проведения лабораторных экспериментов исследовали влияние исходных характеристик образца на прочность древесины сучьев и ветвей (при их разрушении). Проводили исследования размерных характеристик получаемых частиц после межволоконного разделения.

При планировании экспериментов для математического описания процесса разрушения образцов (сучьев и ветвей) было принято, что значение функций отклика описывается с достаточной точностью полиномами не выше второго порядка.

При проведении эксперимента по разрушению образцов проводилась видеосъемка. Из анализа материалов видеосъемки с большой долей вероятности можно сделать вывод о том, что разрушение образцов происходит от растягивающих напряжений.

Сделанные допущения в теоретическом обосновании подтверждаются на опыте, то есть первоначальная трещина возникает в сердцевине образца от воздействия нормальных растягивающих напряжений (отрыв).

В системе Statistika был сделан расчет множественной регрессии для определения зависимости растягивающего напряжения от переменных факторов (диаметр, длина, влажность). Уравнения регрессии выражаются следующим образом (для натуральных факторов):

$$\sigma_1^{(1)} = 0{,}287319 + 0{,}045517D + 0{,}021667L + 0{,}00667D^2 + 0{,}000151W^2 - 0{,}001100DL - 0{,}001171DW - 0{,}000312LW + 0{,}000017DLW. \qquad (7)$$

$$\sigma_1^{(2)} = -7{,}77348 + 0{,}53286D + 0{,}30263L - 0{,}00139L^2 + 0{,}00053W^2 - 0{,}00855DL - 0{,}00620DW - 0{,}00137LW + 0{,}00010DLW, \qquad (8)$$

где $\sigma_1^{(1)}$ – растягивающее напряжение в момент возникновения трещины; $\sigma_1^{(2)}$ – растягивающее напряжение в момент разрушения образца (потери целостности).

Анализ уравнений регрессии показывает, что растягивающие напряжения в момент возникновения трещины и в момент разрушения образца значительно зависят от влажности.

Результаты статистического анализа относительных деформаций, характеризующих процесс разрушения образцов, показывают, что относительные деформации в момент возникновения трещины и в момент разрушения (потери целостности) образца в основном зависят как от влажности, так и от диаметра. С уменьшением диаметра они несколько увеличиваются, как и с уменьшением влажности. Уравнения регрессии выражаются следующим образом:

$$\varepsilon_1^{(1)} = 0{,}08743064 + 0{,}00123790L + 0{,}00005097D^2 + 0{,}000007\ 3\ 3W^2 - 0{,}00007655DL - 0{,}00006439DW - 0{,}00002243LW + 0{,}00000128DLW. \qquad (9)$$

$$\varepsilon_1^{(2)} = -0{,}19899810 + 0{,}01617315D + 0{,}00976254L + 0{,}00272546W - 0{,}00004185L^2 - 0{,}00030948DL - 0{,}00023143DW - 0{,}00005576LW + 0{,}00000404DLW. \qquad (10)$$

Экспериментальные исследования анализа относительного объема частиц, полученных после разрушения, показывают, что относительный объем частиц значительно зависит от диаметра образцов и от их длины.

Уравнение регрессии зависимости объема частиц от влияющих факторов приведено ниже:

$$V_{отн.ч.} = 0{,}60069569 - 0{,}01594096D - 0{,}00584448L - 0{,}00335709W + 0{,}00018685D^2 + 0{,}00004026L^2 + 0{,}00008397DW + 0{,}00004184LW - 0{,}00000074DLW. \quad (11)$$

Предложенная математическая модель позволяет адекватно описывать стадии процесса разрушения древесины отходов лесозаготовок. На основании экспериментальных исследований получены регрессионные уравнения для растягивающих напряжений, относительных деформаций и относительного объема частиц.

Проведенная статистическая обработка экспериментальных данных позволила сделать вывод об адекватности модели многостадийного разрушения.

* 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. Демидов С. П. Теория упругости: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1979. 432 с.
2. Марков В. И. Исследование разрушения отходов лесозаготовок // Актуальные вопросы современной науки: Сб. науч. тр. № 30. Ч. I. Новосибирск: Изд-во ЦРНС, 2014. С. 246–255.
3. Марков В. И., Ломов А. Ю. Моделирование процесса разрушения отходов лесозаготовок // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2001. С. 81–86.
4. Марков В. И. К вопросу механического обезвоживания древесного сырья // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. С. 38–41.
5. Питухин А. В. Вероятно-статистические методы механики разрушения и теории катастроф в инженерном проектировании. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. 304 с.
6. Шегельман И. Р., Будник П. В. Классификация сквозных технологий заготовки биомассы дерева // Перспективы науки. 2012. № 4(31). С. 90–92.
7. Шегельман И. Р., Скрыпник В. И., Галактионов О. Н., Лукашевич В. М. Малозатратные и ресурсосберегающие технологии на лесозаготовках: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2012. 200 с.

Markov V. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

REGULARITIES PROCESS OF THE WASTE WOOD DESTRUCTION

This article deals with the problem of using wood raw material complex processing for the new raw materials production. The article describes the use of new materials based on long-fiber fractions and division of waste wood harvesting process fragments in the following ways: compression and impact, as well as the process of degradation of wood in transverse loading. The article describes stages of the waste wood material model destruction under compressive load across the grain. The test samples are cut from the branches and twigs. Several assumptions are being introduced: the process of destruction has a multistage character; samples are uniform in structure and have transverse isotropy; relationship between stress and strain are linear up to the moment of occurrence of cracks; samples have cylindrical shape with a radius of a circle in cross section, equal to the average radius of sample in its cross section. A model of a multistage fracture is proposed in this article. The first stage lasts from the load application to the specimen until the occurrence of the first crack. The second stage lasts from the moment of cracks occurrence until the loss of the sample integrity. The third stage lasts from full disclosure of the initial crack until the load carrying particles. To describe the first stage author suggests using the theory of elasticity. It should be noted that the maximum normal tensile stresses are formed along the direction of diameter, i.e. initial crack occurs in this direction. Factors of a fracture are: medullary rays; core (the weakest element of the timber). The author proposes to use methods of fracture mechanics in the mathematical study of the second phase.

Key words: Timber waste, destruction, modeling, stage

REFERENCES

1. Demidov S. P. *Teoriya uprugosti* [Theory of elasticity]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1979. 432 p.
2. Markov V. I. The study of the destruction of waste wood [Issledovanie razrusheniya otkhodov lesozagotovok]. *Aktual'nye voprosy sovremennoy nauki: Sbornik nauchnykh trudov.* № 30. Part I. Novosibirsk, Izd-vo CRNS, 2014. P. 246–255.
3. Markov V. I., Lomov A. Yu. *Modelirovanie protsessa razrusheniya otkhodov lesozagotovok: Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU* [Modeling process destruction of waste wood]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2001.112 p.
4. Markov V. I. *K voprosu mekhanicheskogo obezvozhivaniya drevesnogo syr'ya: Trudy lesoinzhenernogo fakul'teta PetrGU* [To the question of mechanical dewatering of wood raw material]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2010. 81p.
5. Pitukhin A. V. *Veroyatno-statisticheskie metody mekhaniki razrusheniya i teorii katastrof v inzhenernom proektirovanii* [Probably-statistical methods of fracture mechanics and the theory of catastrophes in engineering design]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 1998. 304 p.
6. Shegel'man I. R., Budnik P. V. Classification of cross-cutting technologies harvest biomass wood [Klassifikatsiya skvoznykh tekhnologiy zagotovki biomassy dereva]. *Perspektivy nauki*. 2012. № 4(31). P. 90–92.
7. Shegel'man I. R., Skrypnik V. I., Galaktionov O. N., Lukashevich V. M. *Malozatratnye i resursosberegayushchie tekhnologii na lesozagotovkakh* [Low-cost and resource-saving technologies of timber]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2012. 200 p.

Поступила в редакцию 12.03.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Технические науки** **2014**

УДК 69:51-7; 69:007

АРТЕМ ВАЛЕРЬЕВИЧ СТЕПАНОВ
аспирант кафедры технологии металлов и ремонта лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
stepanov@petrsu.ru

АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ ПЕТРОВ
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры промышленного транспорта и геодезии лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
sssn20088@yandex.ru

АНАЛИЗ СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ*

Состояние дорог и транспортная доступность лесных ресурсов является одним из ключевых факторов, обеспечивающих стабильное развитие предприятий лесопромышленного комплекса. В различных регионах РФ состояние и качество инфраструктуры значительно отличаются. Рассматривается плотность сети дорог Республики Карелия как общего пользования, так и лесных. Проанализированы данные, полученные из лесного плана, по планируемым объемам строительства, реконструкции и ремонту лесных дорог. Представлен сравнительный анализ зависимости объема лесозаготовки от плотности сети автомобильных дорог в Республике Карелия и в Финляндии. Также показана немаловажная роль наличия и состояния этих дорог для надлежащего функционирования и развития лесопромышленного комплекса. Представлены результаты и анализ экспериментального исследования гребенки, или дороги типа «стиральная доска», как наиболее часто встречаемого дефекта на дорожной одежде грунтовых и гравийных дорог.

Ключевые слова: плотность сети дорог, дефекты покрытия, анализ, дорога типа «стиральная доска»

Одной из причин медленного развития лесопромышленного комплекса Республики Карелия является недостаточное количество доступных лесосырьевых ресурсов вследствие старой и слабо развитой транспортной инфраструктуры, а также недостаточного уровня содержания уже имеющихся дорог и малого объема строительства новых лесовозных автомобильных дорог. Вследствие этого рубки происходят вблизи старых транспортных путей. Так как сейчас основная доля транспортировки древесины приходится на автопоезда, то эта проблема становится еще более актуальной. Таким образом, вопрос плотности и качества дорог является важным. В задачи по решению данного вопроса входит анализ качества существующей сети дорог и типичных дефектов содержания, а также определение требуемой плотности дорог.

Хорошо развитая транспортная инфраструктура позволяет эффективно осваивать территории, богатые ресурсами, какой и является Республика Карелия. Чем выше плотность лесных и автомобильных дорог общего пользования, тем короче расстояние вывозки леса, меньше затраты времени и транспортные расходы.

Наибольшие объемы работ по строительству дорог были выполнены в период 70–80-х годов прошлого века. В настоящее время темпы строительства новых дорог резко сократились, содержанию имеющейся сети не уделяется должного внимания.

Неудовлетворительное состояние дорожного покрытия является одним из факторов, сдерживающих развитие отрасли и увеличивающих стоимость продукции. Основными дефектами дорожных покрытий являются гребенка и выбоины, а дорожной одежды – пучины, просадки и осадки [3]. Появление дефектов покрытия и дорожной одежды в значительной степени сокращает срок службы дороги. Это связано с тем, что по лесовозным дорогам двигаются автомобили со значительными нагрузками. Изменения геометрических параметров покрытия с потерей ровности значительно увеличивают поездные нагрузки при проезде автопоездами неровностей [4].

Кроме снижения срока службы дороги, снижается скорость движения автопоездов, происходят поломки. Образование гребенки наблюдается как в летний период, так и зимой. На участке лесовозной дороги, располагающейся в Прионежском районе Республики Карелия, были произведены инструментальные измерения гребенки. Под гребенкой понимают поперечные неровности, возникающие на покрытии вследствие сдвигающих сил, образованных от движения однотипных транспортных средств. Для измерения применялась дорожная рейка РДУ Кондор. В процессе измерений фиксировались глубина неровностей и шаг между ними. Результаты измерений представлены в табл. 1. По результатам измерений была произведена математическая обработка полученных данных, которая также приведена в табл. 1.

© Степанов А. В., Петров А. Н., 2014

Таблица 1

Результаты измерений и анализа величины неровностей

№	Толщина снежного наката Hсн, мм	Шаг между гребнями T, мм	Глубина неровности h, мм	Оценка мат. ожидания T	Оценка мат. ожидания h	Оценка дисперсии τ	Оценка дисперсии h	Оценка коэффициента корреляции r_{th}
1	52	500	9					
		550	8					
		500	6,5					
		450	17					
		350	14	470	10,9	5750	19,55	-0,68
2	40	550	13					
		850	8					
		1050	9,5	816	10,17	6333	6,58	-0,76
3	30	300	4,5					
		600	11					
		600	15					
		500	14					
		700	7,5	540	10,4	23000	19,43	0,42
4	3,5	200	7					
		300	8					
		400	10					
		150	8					
		400	11,5					
		350	8,5					
		300	6	300	8,43	9166	3,37	0,64
5	40	400	3,5					
		170	1					
		230	3					
		400	2,5					
		600	4					
		350	3					
		100	1,7					
		150	3	300	2,71	28114	0,93	0,72

Представленные данные получены в зимний период. Для сопоставления необходимо произвести аналогичные измерения в летний период, на основании которых можно будет сделать аргументированные выводы.

Состояние дорожной сети зависит как от качества работ по ремонту и содержанию, так и от соответствия прочности дороги прилагаемым нагрузкам [5]. При низкой плотности дорог по существующей сети перевозится большее количество лесоматериалов, то есть дороги испытывают более интенсивные нагрузки [1]. Так, для сравнения по протяженности дорог можно взять схожую по площади лесного массива территорию Финляндии, где плотность дорог составляет: в северной части страны 5 км/1000 га, в центральной части 10 км/1000 га, в южной 20 км/1000 га при годовом объеме лесозаготовок примерно 50 миллионов метров кубических [2]. В Карелии эти значения следующие: плотность дорог в северной части территории республики 1,5 км/1000 га, в центральной части 2 км/1000 га, в южной части 4 км/1000 га при годовом объеме лесозаготовок порядка 6 миллионов метров кубических. Даже если учесть то, что лесопокрытая площадь Финляндии в 1,33 раза больше лесопокрытой площади Карелии, разница в объеме лесозаготовки там в 8,33 раза выше.

На основании лесного плана Республики Карелия, утвержденного Министерством по природопользованию и экологии Республики Карелия 31.12.08 (введен в действие с 01.01.09), были определены объемы нового строительства, реконструкции и ремонта лесных дорог. Эти данные приведены в табл. 2 и 3. Выполнение этих работ к 2018 году должно обеспечить развитие лесной дорожной сети, повысить плотность дорог, улучшить транспортно-эксплуатационное качество существующих дорог.

Таблица 2

Планируемый объем строительства и реконструкции лесных дорог

Наименование объектов лесной и лесоперерабатывающей инфраструктуры	Наименование лесничества	Ед. изм.	2014	2015	2016	2017	2018	Общий объем на планируемый период (2014–2018)
Строительство дорог круглогодичного действия	Все лесничества	км	320	330	335	340	350	1675
Реконструкция лесных дорог	Все лесничества	км	315	320	325	330	340	1630

Как было сказано выше, транспортировка леса осуществляется не только по лесным и лесовозным дорогам, но и по дорогам общего пользования. Так, согласно государственной программе Республики Карелия «Развитие транспортной системы Республики Карелия на 2014–2020 годы», запланировано увеличение плотности сети автомобильных дорог общего пользования, соответствующих нормативным требованиям к транспортно-эксплуатационным показателям, в 1,53 раза. Причем финансирование государственной программы составляет 20 020 722,60 тысяч рублей, что достаточно много.

Согласно приведенным данным можно сделать следующие выводы:

1) Развитие лесопромышленного комплекса напрямую зависит от наличия и состояния транспортной инфраструктуры. Для обеспечения непрерывной работы транспорта и доступа к удаленным от транспортных путей лесным материалам необходимо развивать сеть лесовозных дорог. При достаточной плотности состояние дорог является ключевым фактором в обеспечении высоких показателей вывозки древесины. При этом должен быть учтен опыт финских коллег в области проектирования и содержания дорог вследствие близости наших территорий, а также местные особенности.

2) При достаточной плотности дорог ритмичность вывозки зависит от состояния дорожной сети, которое изменяется под воздействием нагрузок от транспортных средств и природно-климатических факторов. В отсутствие альтернативных путей интенсивность движения по существующим дорогам возрастает, что вызывает преждевременное наступления отказа дороги.

3) Для более интенсивного развития дорожной сети Республики Карелия необходимо вложение как государственных средств, так и средств частного сектора экономики. Наиболее показателен в условиях нашего региона опыт Финляндии.

Таблица 3

Объемы ремонта дорог противопожарного назначения

Наименование предприятий	Наименование лесничества	Ед. изм.	2014	2015	2016	2017	2018	Объемы за планируемый период 2014–2018 гг.
Транспортное обустройство территории								
Ремонт дорог противопожарного назначения	Калевальское	км	17	17	16	16	16	82
	Костомукшское	км	1	1	1	1	1	5
	Муезерское	км	5	5	4	4	4	22
	Медвежьегорское	км	19	19	19	19	18	94
	Питкярантское	км	11	11	11	11	11	55
	Олонецкое	км	11	11	11	11	11	55
	Пряжинское	км	0	0	0	0	0	0
	Пудожское	км	7	7	6	6	6	32
	Лоухское	км	11	11	11	11	11	55
	Сортавальское	км	2	2	2	2	2	10
	Лахденпохское	км	0	0	0	0	0	0
	Беломорское	км	23	23	23	23	23	115
	Кемское	км	14	14	14	14	13	69
	Сегежское	км	16	16	16	16	16	80
	Суоярвское	км	28	28	28	27	27	138
	Прионежское	км	13	13	13	13	13	65
	Кондопожское	км	10	10	10	10	10	50
Итого		км	188	188	185	184	182	927

* Работа выполнена при поддержке международного проекта «Новые трансграничные решения в области интенсификации ведения лесного хозяйства и повышения степени использования топливной древесины в энергетике» ППС ЕИСП «Карелия» в рамках реализации Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурмистрова О. Н., Бургонутдинов А. М., Юшков Б. С., Окунева А. Г. Дорожные условия и безопасность движения на лесовозных автомобильных дорогах. Ухта: УГТУ, 2013. 104 с.
2. Герасимов Ю. Ю., Катаров В. К. Лесные дороги. Йоэнсуу: Научно-исследовательский ин-т леса Финляндии, 2009. 70 с.
3. Петров А. Н., Степанов А. В. Оценка качества содержания лесовозных автомобильных дорог // Повышение эффективности лесного комплекса Республики Карелия: Материалы третьей республиканской научно-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, докторантов. Петрозаводск, 2012. С. 33–35.
4. Питухин А. В., Петров А. Н. Влияние ровности покрытий на работоспособность автомобильных дорог // Транспортное дело России. 2010. № 5(78). С. 71–75.
5. Питухин А. В., Петров А. Н., Марков В. И., Степанов А. В. Метод определения вероятности безотказной работы участка лесовозной автомобильной дороги вследствие усталостного изнашивания дорожного покрытия // Транспортное дело России. 2013. № 2(105). С. 15–18.

Stepanov A. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Petrov A. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ANALYSIS OF THE WOOD-TRANSPORT ROADS' NETWORK IN THE REPUBLIC OF KARELIA

The condition of roads and transport accessibility of the forest resources are one of the key factors that ensure sustainable development of the timber industry enterprises. The infrastructure's state and quality varies in different regions of the Russian Federation.

The road network density – general and wood transport roads – in the Republic of Karelia are being examined. The data from the forest plan on the planned construction volume, reconstruction and maintenance of the forest roads had been analyzed. A comparative analysis of forest harvesting volume dependence on the density of road network in the Republic of Karelia and Finland had been presented. Furthermore, important role of the availability and condition of these roads for the proper functioning and development of the timber industry enterprises was presented as well. The results and analysis of the experimental research of the comb, or a washboard road type, as the most common defect on the road pavement soil and gravel roads are presented.

Key words: density of the road network, coating defects, analysis, washboard road type

REFERENCES

1. Burmistrova O. N., Burgonutdinov A. M., Yushkov B. S., Okuneva A. G. *Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya na lesovoznykh avtomobil'nykh dorogakh* [Road conditions and traffic safety of the logging roads]. Ukhta, 2013. 104 p.
2. Gerasimov Yu. Yu., Katarov V. K. *Lesnye dorogi* [Forest roads]. Joensuu, 2009. 70 p.
3. Petrov A. N., Stepanov A. V. Quality control of the logging roads' support [Otsenka kachestva soderzhaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog]. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa Respubliki Kareliya: Materialy tret'ey respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov, doktorantov* [Efficiency increase of the forest complex in the Republic of Karelia: materials the 3rd Republican scientific conference of young scientists, postgraduates, doctoral students]. 2012. P. 33–35.
4. Pitukhin A. V., Petrov A. N. The influence coating's smoothness on the performance of roads [Vliyanie rovnosti pokrytiy na rabotosposobnost' avtomobil'nykh dorog]. *Transportnoe delo Rossii* [Russian carrying trade]. 2010. № 5 (78). P. 71–75.
5. Pitukhin A. V., Petrov A. N., Markov V. I., Stepanov A. V. Method of probability detection for the non-failure operation of a timber transport road section due to road coating's fatigue wear [Metod opredeleniya veroyatnosti bezotkaznoy raboty uchastka lesovoznoy avtomobil'noy dorogi vsledstvie ustalostnogo iznashivaniya dorozhnogo pokrytiya. *Transportnoe delo Rossii* [Russian carrying trade]. 2013. № 2 (105). P. 15–18.

Поступила в редакцию 19.08.2014

Декабрь, № 8, Т. 2 **Технические науки** **2014**

УДК 631.171

ЛЕОНИД АЛЕКСЕЕВИЧ ЧЕРНЯЕВ
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
leo@psu.karelia.ru

ТИММО АЛЕКСАНДРОВИЧ ГАВРИЛОВ
аспирант кафедры механизации сельскохозяйственного производства агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
gavrilov@psu.karelia.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТУРБУЛИЗАЦИИ ЖИДКОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛООБМЕННИКА*

Исследуется влияние турбулизации охлаждающей жидкости внутри алюминиевых теплообменников сельскохозяйственных тракторов на эффективность их теплоотдачи. Для создания турбулизации охлаждающей жидкости внутри трубок алюминиевых теплообменников устанавливают пластиковые винтообразные турбулизаторы, которые образуют завихрения потока охлаждающей жидкости в теплообменнике. Исследование производилось на тепловой аэродинамической трубе в научно-исследовательской лаборатории Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Сущность исследования заключалась в сравнительных испытаниях алюминиевых теплообменников сельскохозяйственных тракторов без турбулизаторов и с турбулизаторами в виде витых вставок на основе термостойкой пластмассы. По результатам исследования получены функциональные зависимости гидравлического сопротивления, теплоотдачи и коэффициента теплопередачи алюминиевых теплообменников с турбулизаторами и без них от расхода охлаждающей жидкости. В ходе анализа полученных функциональных зависимостей было установлено, что гидравлическое сопротивление алюминиевых теплообменников с турбулизаторами по сравнению с теплообменниками без турбулизаторов выше на 9,2 %, теплоотдача – на 8,4 %, а коэффициент теплопередачи – на 9,7 %. На основании этого сделан вывод, что применение турбулизаторов в алюминиевых теплообменниках повышает эффективность системы охлаждения сельскохозяйственных тракторов.

Ключевые слова: радиатор, теплоотдача, турбулизатор, сельскохозяйственные трактора, гидравлическое сопротивление

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее развитие и повышение эффективности сельского хозяйства предполагает техническое переоснащение сельскохозяйственного производства. В решении этой задачи важное место отводится развитию тракторного парка. В этой связи большое значение имеет дальнейшее повышение энергонасыщенности и экономичности выпускаемых сельскохозяйственных тракторов. При создании сельскохозяйственных тракторов повышенной мощности увеличивается тепловая напряженность различных функциональных систем. Возникает необходимость обеспечивать отвод в окружающую среду значительного количества теплоты от двигателя, трансмиссии и гидравлической системы. Для решения этой задачи применяются системы охлаждения различной конструкции, основным элементом которых является теплообменник [5]. В настоящее время в системах охлаждения сельскохозяйственных тракторов в основном используют медные и алюминиевые теплообменники, но существует тенденция полного перехода на алюминиевые теплообменники [1], вследствие того что алюминий и его сплавы отличаются низкой плотностью (в 3 раза легче стали и в 3,5 – медных сплавов), высокими удельной прочностью и теплопроводностью, хорошей коррозионной стойкостью, высокой способностью к поглощению удара, низкой стоимостью и недефицитностью.

Исследованиям применения алюминиевых теплообменников в системах охлаждения сельскохозяйственных тракторов, комбайнов и автомобилей посвящены работы В. В. Буркова, А. И. Индейкина, Л. А. Аверкина, Б. И. Лебедева, Х. Х. Мухаметшина, М. Е. Иовлева, Г. А. Курмашева, А. Н. Фомченко, Г. А. Аманова и ряда других отечественных [1], [2], [5], [6], [10] и зарубежных авторов [7], [8], [9]. В этих работах с позиций системного подхода описываются наиболее перспективные направления повышения эффективности работы алюминиевых теплообменников, их конструкции и типы. Но при этом вопрос влияния турбулизации охлаждающей жидкости на параметры теплообменника сельскохозяйственных тракторов на настоящий момент исследован недостаточно, что является существенной проблемой, требующей решения. Известно [3],

© Черняев Л. А., Гаврилов Т. А., 2014

[4], [6], что турбулизация охлаждающей жидкости внутри теплообменника позволяет повысить ее теплоотдачу. Для создания турбулизации охлаждающей жидкости внутрь трубок теплообменника монтируют пластиковые винтообразные турбулизаторы, которые образуют завихрения потока охлаждающей жидкости в теплообменнике, благодаря этому она быстрее отдает тепло.

Цель настоящей работы – исследование влияния турбулизации охлаждающей жидкости на параметры теплообменника сельскохозяйственных тракторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование влияния турбулизации охлаждающей жидкости на параметры теплообменника сельскохозяйственных тракторов производилось на тепловой аэродинамической трубе (ТАТ) в научно-исследовательской лаборатории Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Сущность исследования заключалась в сравнительных испытаниях алюминиевых теплообменников сельскохозяйственных тракторов без турбулизаторов и с турбулизаторами в виде витых вставок на основе термостойкой пластмассы. Алюминиевые теплообменники без турбулизаторов и с турбулизаторами поочередно устанавливались в ТАТ (рис. 1).

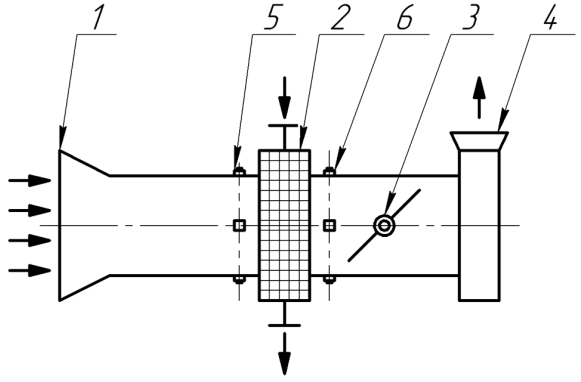


Рис. 1. Схема тепловой аэродинамической трубы:
1 – заборное устройство, 2 – теплообменник, 3 – регулировочная заслонка, 4 – центробежный вентилятор,
5, 6 – сечения ТАТ до и после теплообменника

Воздух через входное заборное устройство *1*, поверхность которого отполирована и покрыта лаком, поступает в канал прямоугольного сечения размером 375 × 150 мм, проходит через сердцевину теплообменника *2*, установленного в разъеме аэротрубы, и далее через регулировочную заслонку *3* направляется к центробежному вентилятору *4* типа ВД-9. Ртутные (типа ТЛ-4) и электротермометры (с датчиками температуры на терморезисторах СТЗ-14 с измерительным блоком и индикаторами для дистанционного фиксирования температуры с точностью 0,1 К) располагаются перед входом в МТАТ и в сечениях *5* и *6*. Все поверхности ТАТ покрыты слоем теплоизоляции толщиной до 50 мм, все соединения надежно уплотнены от протечек воздуха.

Порядок проведения исследования был следующий: в теплообменник подавалась охлаждающая жидкость (вода), нагретая до температуры $t_w' = 85 \ldots 95$ ºС, и в соответствии с планом эксперимента задавался определенный расход воды G_w (л/мин). По плану эксперимента значения расхода воды варьировали в диапазоне 60…120 л/мин с шагом 20 л/мин. Далее запускался центробежный вентилятор. По достижении стабильности показаний электротермометров снимались показания с контрольно-измерительных приборов. В протоколе испытаний регистрировались следующие параметры: температура воды на входе t_w' и выходе t_w''; воздуха на входе t_l' и выходе t_l''; площадь поверхности охлаждения теплообменника по воздуху F_l.

Для получения необходимой стабильности показаний длительность исследования при каждом значении расхода воды составляла 20 мин. Расчетными параметрами для построения характеристик теплообменника являлись: гидравлическое сопротивление ΔP_w (кПа), теплоотдача (по воде) Q_w^{60} (кВт), коэффициент теплопередачи K (Вт/ (м² × К)). Обработка опытных данных производилась по формулам, разработанным в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории СПбГАУ [1], [6]:

Средняя температура воздуха на входе:

$$\overline{t_l'} = (t_l' + t_l'')/2, \text{ К}.$$

Температурный напор по воздуху:

$$\Delta t_l = t_l'' - \overline{t_l'}, \text{ К}.$$

Средняя температура воды: $\overline{t_w} = (t_w' + t_w'')/2$, К.

Температурный напор воды: $\Delta t_w = (t_w'' - \overline{t_w})$, К.

Плотность воды при данных условиях:

$\gamma_w = 1021{,}25 - 0{,}625 \times t_w'$, кг/м³.

Средняя весовая теплоемкость воды при постоянном давлении:

$C_{pw} = 0{,}000133 \times \overline{t_w} + 0{,}9967$, Дж/ (кг × К).

Теплоотдача от воды к поверхности теплообменника:

$Q_w = 0{,}06 \times \gamma_w \times C_{pw} \times G_w \times \Delta t_w$, кВт.

Температурный напор на входе: $\Delta t_i = t_w' - t_l'$, К.

Теплоотдача (по воде):

$Q_w^{60} = 60 \times Q_w / (1{,}163 \times 10^{-3} \times \Delta t_H)$, кВт.

Среднелогарифмическая разность температур:

$$\Delta t_{\ln} = (t_w'' - \overline{t_l'}) - (t_w' - t_l'') / \ln\left[(t_w'' - \overline{t_l'}) - (t_w' - t_l'')\right], \text{ К}.$$

Средний коэффициент теплопередачи поверхности охлаждения теплообменника:

$$K = 1{,}163 \times Q_w / (\Delta t_{\ln} \times F_l)\text{, Вт/ (м}^2\times\text{К)}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенных расчетов были получены выборки данных изменения гидравлического сопротивления, теплоотдачи (по воде) и коэффициента теплопередачи в зависимости от расхода воды теплообменников с турбулизаторами и без них. Для полученных данных произведена статистическая обработка общепринятыми методами математической статистики для доверительной вероятности 0,9. Результаты представлены в виде графиков характеристик теплообменников на рис. 2–4.

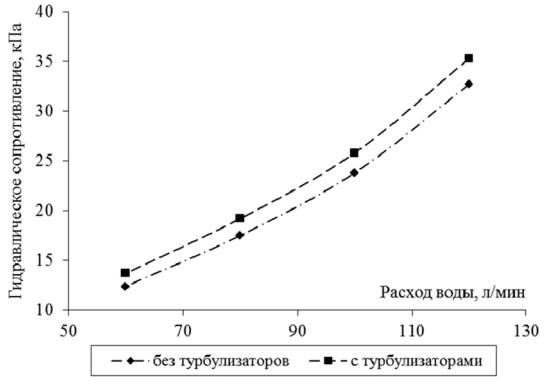


Рис. 2. График изменения гидравлического сопротивления в зависимости от расхода воды теплообменников с турбулизаторами и без турбулизаторов

Представленные на графике (см. рис. 2) экспериментальные кривые можно аппроксимировать следующими полиноминальными зависимостями:

а) теплообменник без турбулизаторов –

$$\Delta P_w = 0{,}0024 \times G_w{}^2 - 0{,}092 \times G_w + 9{,}41$$

с достоверностью $R^2 = 0{,}99$;

б) теплообменник с турбулизаторами –

$$\Delta P_w = 0{,}0025 \times G_w{}^2 - 0{,}093 \times G_w + 10{,}37$$

с достоверностью $R^2 = 0{,}99$.

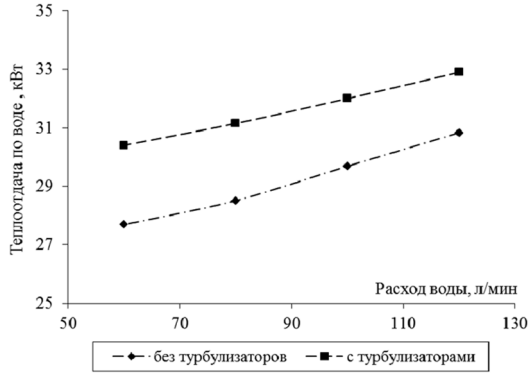


Рис. 3. График изменения теплоотдачи по воде в зависимости от расхода воды теплообменников с турбулизаторами и без турбулизаторов

Представленные на графике (см. рис. 3) экспериментальные кривые можно аппроксимировать следующими полиноминальными зависимостями:

а) теплообменник без турбулизаторов –

$$\Delta P_w = 0{,}0002 \times G_w{}^2 + 0{,}017 \times G_w + 25{,}93$$

с достоверностью $R^2 = 0{,}99$;

б) теплообменник с турбулизаторами –

$$\Delta P_w = 0{,}0001 \times G_w{}^2 + 0{,}025 \times G_w + 28{,}57$$

с достоверностью $R^2 = 1{,}00$.

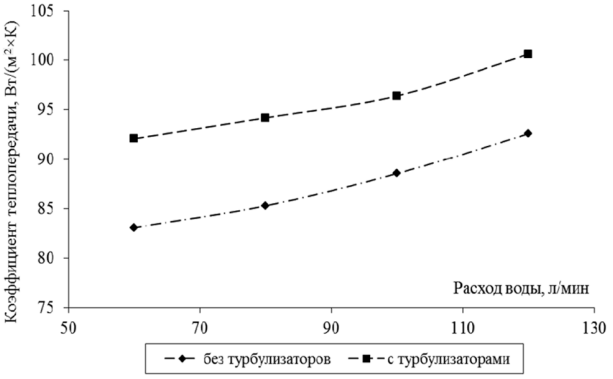


Рис. 4. График изменения коэффициента теплопередачи в зависимости от расхода воды теплообменников с турбулизаторами и без турбулизаторов

Представленные на графике (см. рис. 4) экспериментальные кривые можно аппроксимировать следующими полиноминальными зависимостями:

а) теплообменник без турбулизаторов –

$$\Delta P_w = 0{,}0012 \times G_w{}^2 - 0{,}051 \times G_w + 81{,}94$$

с достоверностью $R^2 = 1{,}00$;

б) теплообменник с турбулизаторами –

$$\Delta P_w = 0{,}0013 \times G_w{}^2 - 0{,}098 \times G_w + 93{,}34$$

с достоверностью $R^2 = 0{,}99$.

Анализируя представленные на графиках характеристик теплообменников данные и полученные зависимости, можно отметить, что с увеличением расхода воды полиноминально возрастает гидравлическое сопротивление, теплоотдача (по воде) и коэффициент теплопередачи как теплообменников с турбулизаторами, так и без турбулизаторов. Гидравлическое сопротивление теплообменников с турбулизаторами по сравнению с теплообменниками без турбулизаторов возросло в среднем на 9,2 %, теплоотдача – на 8,4 %, коэффициент теплопередачи – на 9,7 %.

Полученные нами результаты согласуются с результатами испытаний алюминиевых теплообменников фирмы LUZAR, проведенных ОАО «Арзамасский машиностроительный завод» (протоколы испытаний № 352, 353 и 354 от 18.09.2012): теплоотдача теплообменников с турбулизаторами во всех трубках выше на 10 %, чем теплообменников без турбулизаторов в трубках [10].

Повышение гидравлического сопротивления ведет к дополнительным затратам энергии на его

преодоление, что, в свою очередь, приводит к повышению расхода топлива сельскохозяйственных тракторов. Но увеличение теплоотдачи и коэффициента теплопередачи ведет к существенному повышению эффективности отвода в окружающую среду тепла, что компенсирует гидравлические потери, а также позволяет снизить размеры и массу теплообменника, тем самым снижая его расход топлива и стоимость.

На основании вышеизложенного мы полагаем, что применение турбулизаторов в алюминиевых теплообменниках является целесообразным и позволит повысить эффективность системы охлаждения сельскохозяйственных тракторов.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурков В. В. Алюминиевые теплообменники сельскохозяйственных и транспортных машин. Л., 1985. 239 с.
2. Бурков В. В., Индейкин А. И. Автотракторные радиаторы. Л.: Машиностроение, 1978. 216 с.
3. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М.: Энергоатомиздат, 1990. 386 с.
4. Узаков Г. Н., Ибрагимов У. Х., Шомуратова С. М., Рузикулов Г. Обобщение опытных данных по гидравлическому сопротивлению в трубках теплообменников с локальными турбулизаторами // Молодой ученый. 2013. № 10. С. 144–146.
5. Фомченко А. Н. Улучшение показателей эффективности блочных систем охлаждения при эксплуатации тракторов и автомобилей путем разработки метода и средств дифференциальной оценки теплообменников: Дисс. … канд. техн. наук. СПб., 1999. 173 с.
6. Черняев Л. А. Повышение эффективности тракторных теплообменников путем использования алюминиевых радиаторов, изготовленных методом подрезки и отгибки оребрения: Дисс. … канд. техн. наук. СПб., 1993. 171 с.
7. Alam T., Saini R. P., Saini J. S. Use of turbulators for heat transfer augmentation in an air duct – A review // Renewable Energy. 2014. № 62. P. 689–715.
8. Bai S., Li G., Zhang L., Yang B. Design and test of cold rectifying fin tubular radiator for tractor // Nongye Jixie Xuebao / Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery. 2006. № 37 (1). P. 37–39.
9. Kuang W. H., Chen B. B. Numerical simulation and technical study of radiator aluminum extrusion // Journal of Applied Sciences. 2013. № 13 (21). P. 4411–4419.
10. Lada-forum.ru (2013). Available at: http://www.lada-forum.ru/index.php?showtopic=47815&page=116

Chernyaev L. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Gavrilov T. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF FLUID TURBULIZATION ON THE PARAMETERS OF THE HEAT EXCHANGER

This article is devoted to the research of the influence of cooling fluid turbulization inside the agricultural tractors aluminium heat exchangers on the efficiency of their heat emission. To create the cooling fluid turbulization inside the aluminium heat exchangers tubes plastic helical turbulator which forms a cooling fluid turbulence in the heat exchanger are mounted. The study was carried out at heat wind tunnel in the research laboratory at St. Petersburg State Agrarian University. The essence of the study was to test comparatively agricultural tractors aluminum heat exchangers without turbulators and with turbulators in the form of twisted inserts on the basis of heat-resistant plastic. According to the study the authors obtained the functional dependence of hydraulic resistance, heat emission and heat transfer coefficient of aluminium heat exchangers with turbulators and without on the cooling fluid rate. Analyzing the functional dependence, the authors found out that the hydraulic resistance of the aluminum heat exchangers with turbulators as compared to the heat exchangers without turbulators is 9,2%, the heat emission 8,4%, and heat transfer coefficient 9,7% higher. On the basis of this, the authors consider that the application of the turbulator in aluminium heat exchangers increases the efficiency of the cooling system of agricultural tractors.

Key words: radiator, heat emission, turbulator, agricultural tractors, hydraulic resistance

REFERENCES

1. Burkov V. V. *Alyuminievye teploobmenniki sel'skokhozyaystvennykh i transportnykh mashin* [Aluminum heat exchangers of the agricultural and transport machinery]. Leningrad, 1985. 239 p.
2. Burkov V. V., Indeykin A. I. *Avtotraktornye radiatory* [Autotractor radiators]. Leningrad, 1978. 216 p.
3. Kutateladze S. S. *Teploperedacha i gidrodinamicheskoe soprotivlenie* [Heat transfer and hydrodynamic resistance]. Moscow, 1990. 386 p.
4. Uzakov G. N., Ibragimov U. Kh., Shomuratova S. M., Ruzikulov G. Generalization of the experimental data on the hydraulic resistance in the heat exchanger tubes with local turbulizers [Obobshchenie opytnykh dannykh po gidravlicheskomu soprotivleniyu v trubkakh teploobmennikov s lokal'nymi turbulizatorami]. *Molodoy uchenyy* [Young scientist]. 2013. № 10. P. 144–146.
5. Fomchenko A. N. *Uluchshenie pokazateley effektivnosti blochnykh sistem okhlazhdeniya pri ekspluatatsii traktorov i avtomobiley putem razrabotki metoda i sredstv differentsial'noy otsenki teploobmennikov. Diss. ... kand. tekhn. nauk* [Improvement of the efficiency of block cooling systems performances at operation of tractors and cars by development of the differential assessment of heat exchangers method and means. Ph. D. tech. sci. diss]. St. Petersburg, 1999. 173 p.
6. Chernyaev L. A. *Povyshenie effektivnosti traktornykh teploobmennikov putem ispol'zovaniya alyuminievykh radiatorov, izgotovlennykh metodom podrezki i otgibki orebreniya. Diss. ... kand. tekhn. nauk* [Improving of the heat exchangers efficiency by using tractor aluminum radiators fabricated by cutting the fins and the flange. Ph. D. tech. sci. diss]. St. Petersburg, 1993. 171 p.
7. Alam T., Saini R. P., Saini J. S. Use of turbulators for heat transfer augmentation in an air duct – A review // Renewable Energy. 2014. № 62. P. 689–715.
8. Bai S., Li G., Zhang L., Yang B. Design and test of cold rectifying fin tubular radiator for tractor // Nongye Jixie Xuebao / Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery. 2006. № 37 (1). P. 37–39.
9. Kuang W. H., Chen B. B. Numerical simulation and technical study of radiator aluminum extrusion // Journal of Applied Sciences. 2013. № 13 (21). P. 4411–4419.
10. Lada-forum.ru (2013). Available at: http://www.lada-forum.ru/index.php?showtopic=47815&page=116

Поступила в редакцию 09.01.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Технические науки** **2014**

УДК 72.03(470.22):630.561.1.24

ИРИНА ЕВГЕНЬЕВНА ГРИШИНА
заместитель директора НИИ историко-теоретических проблем народного зодчества, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
niinaz@karelia.ru

МАРГАРИТА ВАСИЛЬЕВНА КИСТЕРНАЯ
кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела учета и хранения недвижимых памятников, Государственный историко-архитектурный и этнографический музей-заповедник «Кижи» (Петрозаводск, Российская Федерация)
kisternaya@kizhi.karelia.ru

ВАЛЕРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КОЗЛОВ
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства, Институт леса Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
vkozlov@krc.karelia.ru

КОМПЛЕКСНАЯ ХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ АТРИБУЦИЯ ЧАСОВНИ В ЗАОНЕЖСКОЙ ДЕРЕВНЕ ПОДЪЕЛЬНИКИ*

На примере часовни Параскевы Пятницы и Варлаама Хутынского в заонежской деревне Подъельники рассматривается использование комплексного метода определения датировок строительных этапов традиционных деревянных культовых построек. Строительная история памятника, включая время его возведения, реконструкции и этапа завершающих работ, выявлена на основании его натурных обследований с применением архитектурно-археологической шкалы для датировки церквей и часовен Карелии. Учтены данные предшествующих исследований часовни 1940–1980-х годов. Дендрохронологический анализ образцов древесины памятника при сравнении его результатов с авторской локальной дендрошкалой «Заонежье» уточнил этапы и время формирования часовни: для строительства ее молитвенного помещения использована древесина срубленного в конце XVIII века амбара; молитвенное помещение, притвор и колокольня часовни возведены единовременно в начале 1860-х годов; растянутый во времени этап завершающих работ, включающий пристройку сеней, наружную обшивку сруба, изменение окон, внутренних дверей и потолка молитвенного помещения, относится к периоду с 1870-х годов до начала XX века включительно.

Ключевые слова: часовни, хронологическая атрибуция, строительные периоды, архитектурно-археологическая шкала, дендрохронология

Часовня Параскевы Пятницы и Варлаама Хутынского в деревне Подъельники – один из интереснейших памятников в экспозиции «Кижское ожерелье» музея-заповедника «Кижи». В настоящее время часовня представляет собой Г-образную в плане равновысокую клетскую постройку, состоящую из состыкованных по меридиональной оси продольно-прямоугольных срубов кафоликона (молитвенного помещения) и притвора. Над западной частью последнего, слегка уширенного и значительно укороченного по отношению к первому, надстроена шестигранная колокольня под невысоким шатром-колпаком с полицами. Шатер, как и покрытие кафоликона, увенчан главкой с крестом (рис. 1).

Часовня в Подъельниках имеет длительную историю исследования, начатую финским ученым Ларсом Петтерссоном в начале 1940-х годов [9]. В 1950–1960-х годах часовню детально обследовал архитектор-реставратор А. В. Ополовников [1], по проекту которого в 1963 году была проведена реставрация памятника. Анализом художественных особенностей часовни занимался академик В. П. Орфинский [3]. В 1988 году сотрудниками музея «Кижи» С. В. Куликовым и С. В. Воробьевой был составлен научный паспорт памятника [5]. В 2006 году часовня заново отреставрирована.

Одной из важнейших проблем в изучении традиционных часовен является определение времени их возведения и реконструкций. Предшествующими исследованиями в строительной истории памятника выделено три периода: возведение двухкамерной (или однокамерной) часовни в первый период, пристройка притвора и колокольни – во второй и устройство каркасных сеней – в третий. Ларс Петтерссон датирует часовню 1860–1865 годами на основании храмовой иконы, подписанной известным заонежским иконописцем И. Аверкиевым в 1863 году [9; 82, 92–93]. Петтерссон выделяет и второй строительный период, связанный с пристройкой колокольни, но не датирует его. А. В. Ополовников выявляет первоначальный период, когда часов-

© Гришина И. Е., Кистерная М. В., Козлов В. А., 2014

ня была одночастной. Пристройка колокольни и сеней, по его мнению, относится ко второй половине XIX века [1; 180]. По данным научного паспорта памятника, часовня была срублена в конце XVIII века, а время устройства колокольни относится к середине XIX века. В паспорте ничего не говорится о времени устройства сеней, но указывается, что обшивка главок железом и изменения в интерьере могли произойти в конце XIX века [5].

Рис. 1. Часовня в деревне Подъельники.
Фото Б. Бойцова, 1970-е годы

Имеющиеся датировки часовни противоречивы и неполны, что связано с использованием разных методик исследования. Оптимальным может считаться только комплексный подход к хронологической атрибуции памятника, так как ни одна отдельно взятая методика датирования, как правило, не дает абсолютно корректных результатов. Опыт карельских исследователей деревянного зодчества показывает, что наилучшие результаты обеспечивает датирование с использованием архитектурно-археологической шкалы и дендрохронологического анализа древесины с учетом относительных датирующих данных и сведений из письменных источников [2], [4], [6], [7].

Натурное исследование памятника и датирование с помощью архитектурно-археологической шкалы позволили выдвинуть гипотезу о двух строительных периодах и растянутом во времени этапе завершающих работ.

Предваряя хронологический анализ часовни, отметим, что, по данным Л. Петтерссона, основой храма являлся береговой амбар [9; 82, 92–93]. Правомерность такого утверждения подтверждают следы сусеков на восточной стене кафоликона. Амбар имел встроенное предмостье, выделенное на нижнем ярусе перерубом. Его следы хорошо видны на северной и южной стенах молитвенного помещения храма. Скорее всего, изнутри сруб амбара не был отесан. Позднее его раскатали, а часть бревен использовали для строительства часовни, добавив внизу не менее двух венцов. При этом удалили переруб предмостья и все повторно используемые стеновые бревна отесали изнутри без скругления углов. Срубленный таким образом храм представлял собой одночастную клетскую часовню, отличавшуюся от известных архаических культовых построек такого типа формой кафоликона – не квадратной в плане, а продольно-прямоугольной, что предопределялось формой исходного амбара и не противоречило тенденции развития молитвенных помещений храмов. Наиболее вероятный период распространения указанных признаков приурочен ко второй половине XIX – началу XX века [4; 223, 224].

Первоначально молитвенное помещение освещалось только с юга двумя трехкосящатыми окнами, меньшими по размерам, нежели нынешние. Судя по следам, их косяки соединялись «в ус» между собой и под прямым углом с подоконным бревном. Вершник имел гребень и заплечики с внешней стороны. Периодом наиболее вероятного распространения такого типа оконных колод является вторая половина XVIII – первая четверть XIX века [4; 227]. Входная дверь находилась на западном фасаде, ее косяки не сохранились.

Часовня была покрыта двускатной тесовой кровлей по курицам и потокам, вероятное и наиболее вероятное распространение которой относится к широкому временному интервалу – со второй половины XVII до середины XIX века [4; 226].

С учетом небольшого числа датирующих признаков и разброса временных интервалов их распространения за датировку первого периода принят предложенный Л. Петтерссоном период 1860–1865 годов, как единственный, имеющий документальное подтверждение.

По данным дендрохронологического анализа, проведенного на часовне летом 2009 года, бревна для молитвенного помещения были срублены в период 1791–1795 годов. Для анализа было отобрано 5 кернов с количеством годичных колец от 70 до 110 (рис. 2). Корреляция с «заонежской» дендрохронологической шкалой [8] достаточно высокая (более 0,75).

Обобщая данные дендрохронологического анализа и результаты архитектурно-археологических исследований, можно утверждать, что береговой амбар был построен в конце XVIII века и в 1860-е годы перестроен в часовню.

Второй строительный период знаменуется пристройкой притвора. Его стены отесаны изнутри со скруглением углов, что датируется в широких временных границах со второй половины XVII до начала XX века [4; 224]. Дверь в притвор для своего времени (после 1860-х годов) была весьма архаичной. Она имела трехкосящатую

колоду с косяками, соединенными «в ус» между собой и под прямым углом с порогом. На вершнике колоды с наружной стороны был гребень и заплечики. Такая конструкция колоды может относиться ко второй четверти XVIII – середине XIX века [4; 227]. Притвор освещался через южное трехкосящатое окно, косяки которого соединяются между собой исподоконным бревном под прямым углом. Данный тип окон встречался лишь в XIX веке [4; 227].

К этому времени приурочено также изменение окон кафоликона. Южные окна растесали, установив новые колоды, аналогичные колодам окна в притворе. Окно такого же конструктивного типа прорубили на северной стене кафоликона. Все окна имели скосы с внутренней стороны колод, что позволяет датировать их в широком временном диапазоне – XVIII – начало XX века включительно [4; 227].

В этот же строительный период над западной частью притвора надстроили колокольню. При определении времени надстройки колокольни значение имеют рубленные «в лапу» стены основания звонницы, но они наиболее вероятны в широких пределах с середины XVIII до начала XX века [4; 224]. С учетом датировки первого строительного периода внимание было обращено на распространенность датирующих признаков колокольни во второй половине XIX века. Колокольня достаточно архаизирована, так как время наиболее вероятного распространения трех из пяти датирующих признаков – первая половина XIX века – не принадлежит искомому хронологическому интервалу. Временные периоды вероятного распространения данных признаков следующие: для повалов стен колокольни (в нашем случае недостаточно выраженных) – первая четверть XIX века [4; 224], наружная отеска стен – с первой половины XIX до начала XX века [4; 224], ограждение яруса звона из плоских криволинейных балясин – вторая половина XIX века [4; 228]. Из всех датирующих признаков колокольни наибольшей «весомостью» обладают одинарные столбы яруса звона. Наиболее вероятный хронологический интервал их распространения относится ко второй половине XIX – началу XX века [4; 223], что по совокупности признаков с учетом датировки предшествующего строительного периода позволяет отнести реконструкцию часовни к последней трети XIX века.

Для дендрохронологического анализа были отобраны керны с бревен притвора: четыре образца с количеством годичных колец от 80 до 130. На шестерике колокольни удалось отобрать три полноценных образца с количеством годичных колец от 50 до 70 (см. рис. 2). Исследование показало, что бревна для притвора срублены в период 1858–1862 годов, а колокольни – в период 1838–1845 годов. Корреляция «заонежской» дендрохронологической шкалы [8] и дендроряда молитвенного помещения достаточно высокая – 0,78; с дендрорядом колокольни несколько ниже – 0,72. На всех отобранных кернах прослеживается региональный провал активности древесного прироста после 1810–1812 годов, обусловленный климатическими условиями данного региона (рис. 3).

Учитывая относительно небольшое количество годичных колец в образцах (менее 100), отобранных на шестерике колокольни, однородность проанализированных древесно-кольцевых хронологий, а также принимая во внимание вариативность архитектурно-археологических признаков первого и второго строительных периодов, конфликт датировки второго строительного периода по архитектурно-археологической шкале с данными дендрохронологического

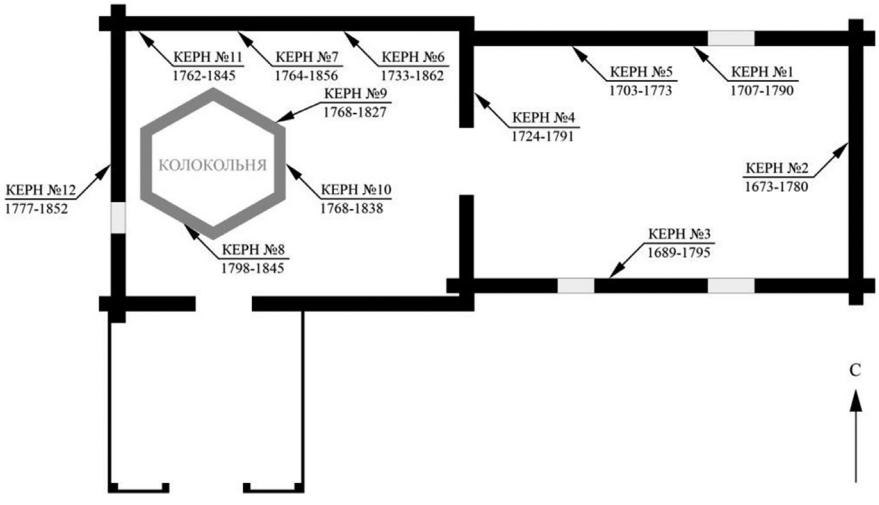


Рис. 2. Схема мест отбора кернов для дендрохронологического анализа с указанием их датировки

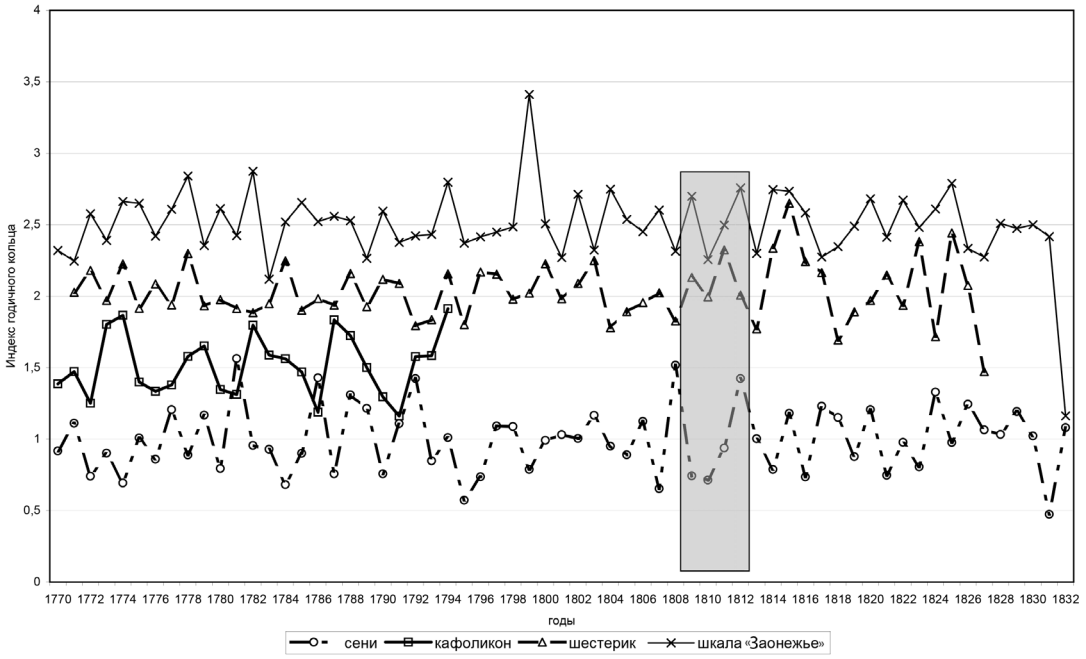


Рис. 3. Перекрестное датирование индексов годичных колец образцов древесины из различных зон памятника с локальной дендрошкалой «Заонежье» (на диаграмме выделены реперные годы (1810–1812) с угнетением годичного прироста)

анализа (последняя треть XIX века и середина XIX века), можно предположить, что во время перестройки часовни из амбара она возводилась сразу с притвором и колокольней. Сравнение дендрорядов притвора и шестерика дает право высказать предположение о разновременности рубки деревьев для этих зон и, соответственно, об использовании при рубке колокольни вторичной древесины.

Таким образом, с высокой долей вероятности можно утверждать, что береговой амбар, срубленный в конце XVIII века, в начале 1860-х годов был перестроен в двухчастную часовню с колокольней.

Все остальные изменения во внешнем и внутреннем облике храма в рамках его намеченной строительной периодизации не поддаются однозначной хронологической атрибуции. Частично они могли быть сделаны в процессе реконструкции храма (во второй строительный период) или выполняться последовательно, с незначительными временными перерывами после строительства часовни до начала XX века включительно.

К этим изменениям относится пристройка каркасных сеней. При их строительстве использовались кованые гвозди, наиболее вероятный временной интервал их использования – от начала XIX века до середины 1880-х годов [4; 225]. Сени могли быть пристроены и одновременно с возведением колокольни, о чем свидетельствуют особенности компоновки объемов в западной части храма – притвора, основания колокольни и крыши сеней.

К завершающим работам на храме можно отнести наружную обшивку храма, которая, видимо, задумывалась уже на этапе реконструкции, на что указывают выступающие оконные колоды, выполненные с расчетом на последующую обшивку сруба.

Скорее всего, в это время произошли изменения в интерьере часовни. Проем между притвором и кафоликоном увеличили и установили двустворчатую филенчатую дверь; такой тип двери бытовал во второй половине XIX – начале XX века [4; 228]. Заменили входную дверь в притвор. Новая дверь больше, чем первоначальная; ее боковые косяки соединяются в четверть с вершником и под прямым углом с порогом. Период наиболее вероятного распространения таких дверей – вторая половина XIX – начало XX века [4; 227]. Возможно, тогда же стены были обтянуты холстом и оклеены обоями, в подоконной зоне молитвенного помещения установлены филенчатые панели, а потолок заменен дощатым сводом по кружалам. Появился дополнительный оконный проем на южной части западной стены притвора, имеющий дощатую коробку. Памятник приобрел вид, сохранившийся до нашего времени.

В заключение отметим, что периоды распространения многих датирующих признаков часовни слишком протяженны и мало детализированы в пределах второй половины XIX – начала XX века, в связи с чем представленная выше версия строительной истории памятника в части времени пристройки сеней, устройства и изменения окон и дверей не является единственно возможной.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/154 в сфере научной деятельности, НИР № 1704.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оположников А. В. Русское деревянное зодчество. М.: Искусство, 1986. 312 с.
2. Орлов А. В., Кистерная М. В., Козлов В. А. Комплексная хронологическая атрибуция часовни Спаса Нерукотворного из Заонежской деревни Вигово // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: «Естественные и технические науки». 2010. № 8 (113). С. 64–70.
3. Орфинский В. П. Логика красоты. Петрозаводск: Карелия, 1982. 120 с.
4. Орфинский В. П., Яскеляйнен А. Т. Хронологическая атрибуция сооружений народного деревянного культового зодчества // Орфинский В. П., Гришина И. Е. Типология деревянного культового зодчества Русского Севера. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. С. 220–230.
5. Часовня Параскевы Пятницы и Варлаама Хутынского в деревне Подъельники. Паспорт № 981 от 23.06.1988 / Сост. С. В. Куликов, С. В. Воробьева; Архив Республиканского центра по государственной охране объектов культурного наследия Министерства культуры Республики Карелия.
6. Яскеляйнен А. Т. К вопросу о датировке и эволюции часовни Петра и Павла на Волкострове // Проблемы исследования, реставрации и использования архитектурного наследия Российского Севера. Петрозаводск: РИО ПетрГУ, 1991. С. 124–131.
7. Яскеляйнен А. Т. Архитектурно-археологическое датирование традиционных жилых построек Заонежья // Народное зодчество: Межвуз. сб. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. С. 173–193.
8. Kozlov V., Kisternaya M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in North Russia // Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology. 2004. № 209. P. 103–111.
9. Pettersson L. Äänisniemen kirkollinen puuarkkitehtuuri. Helsinki, 1950. 342 s.

Grishina I. E., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Kisternaya M. V., Kizhi State Open-Air Museum of History, Architecture and Ethnography (Petrozavodsk, Russian Federation)
Kozlov V. A., Forest Resource Institute, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

OVERALL CRONOLOGICAL ATTRIBUTION OF A CHAPEL IN ZAONEZHYE VILLAGE OF POD"YEL'NIKI

The Paraskeva Pyatnitsa Chapel of Barlaam of Khutyn in the Zaonezhye village of Pod''yel'niki is examined to settle an overall method for timing various stages in the construction of traditional wooden churches. The construction history of the monument, including the time of its erection, reconstruction and completion, has been unveiled by full-scale study using an architectural and archaeological scale for timing Karelian churches and chapels. The data, obtained by the earlier study of the Chapel in the 1940–1980s, was taken into consideration. Dendrochronological analysis of the monument's wood samples was made; the obtained results were compared with the author's local Zaonezhye dendroscale. As a result, the timing of erection and construction stages of the chapel were determined more accurately: wood from a late 18th century barn was used for the building of its prayer room; the prayer room, the narthex and the belfry of the chapel were built simultaneously in the early 1860s; the long final stage, at which the entrance was attached, the exterior of the framework was lined and the windows, the inner doors and the ceiling of the prayer room were changed, lasted from the 1870s to the early 20th century.

Key words: Traditional wooden architecture, chapels, chronological attribution, construction stages, architectural and archeological scale, dendrochronology, Scots Pine

REFERENCES

1. Opolovnikov A. V. *Russkoe derevyannoe zodchestvo* [Russian wooden architecture]. Moscow, Iskusstvo Publ., 1986. 312 p.
2. Orlov A. V., Kisternaya M. V., Kozlov V. A. Overall chronological attribution of the Chapel of Christ Not Made by Hands in the Zaonezhye village of Vigovo [Kompleksnaya khronologicheskaya atributsiya chasovni Spasa Nerukotvornogo iz zaonezhskoy derevni Vigovo]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Ingineering Sciences]. 2010. № 8 (113). P. 64–70.
3. Orfinskiy V. P. *Logika krasoty* [Logic of beauty]. Petrozavodsk, Karelia Publ., 1982. 120 p.
4. Orfinskiy V. P., Yaskelyaynen A. T. Chronological attribution of folk wooden churches [Khronologicheskaya atributsiya sooruzheniy narodnogo derevyannogo kul'tovogo zodchestva]. *Orfinskiy V. P., Grishina I. E. Tipologiya derevyannogo kul'tovogo zodchestva Russkogo Severa* [Typology of North Russian wooden cult architecture]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 2004. P. 220–230.
5. The Paraskeva Pyatnitsa and Barlaam of Khutyn Chapel in the village of Podyelniki [Chasovnya Paraskevy Pyatnitsy i Varlaama Khutynskogo v derevne Pod''el'niki]. *Arkhiv Respublikanskogo tsentra po gosudarstvennoy okhrane ob''ektov kul'turnogo naslediya Ministerstva kul'tury Respubliki Kareliya* [Archives of the Republican Centre for the State Protection of the Cultural Heritage, Ministry of Culture, Republic of Karelia]. Certificate № 981 of 23.06.1988. By S. V. Kulikov & S. V. Vorobyeva.
6. Yaskelyaynen A. T. On the timing and evolution of Peter and Paul's Chapel in Volkostrov [K voprosu o datirovke i evolyutsii chasovni Petra i Pavla na Volkostrove]. *Problemy issledovaniya, restavratsii i ispol'zovaniya arkhitekturnogo naslediya Rossiyskogo Severa* [Research, restoration and operation issues of the architectural heritage of the Russian North]. Petrozavodsk, 1991. P. 124–131.
7. Yaskelyaynen A. T. Architectural and archaeological timing of traditional residential buildings in Zaonezhye [Arkhitekturno-arkheologicheskoe datirovanie traditsionnykh zhilykh postroek Zaonezh'ya]. *Narodnoe zodchestvo: Mezhvuz. sb.* [Folk architecture: Inter-university volume of papers]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU, 1998. P. 173–193.
8. Kozlov V., Kisternaya M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in North Russia // Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology. 2004. № 209. P. 103–111.
9. Pettersson L. Äänisniemen kirkollinen puuarkkitehtuuri. Helsinki, 1950. 342 s.

Поступила в редакцию 15.08.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 537.535:538.6

ЕЛЕНА СОСЛАНОВНА ДЗЛИЕВА
кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры общей физики 1 физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
plasmadust@yandex.ru

МАКСИМ АНАТОЛЬЕВИЧ ЕРМОЛЕНКО
аспирант кафедры общей физики 1 физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
plasmadust@yandex.ru

ВИКТОР ЮРЬЕВИЧ КАРАСЕВ
доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики 1 физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
plasmadust@yandex.ru

ЛЕОНТИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ НОВИКОВ
инженер кафедры общей физики 1 физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
plasmadust@yandex.ru

СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ ПАВЛОВ
инженер кафедры общей физики 1 физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
plasmadust@yandex.ru

ВЛАДИМИР АНАТОЛЬЕВИЧ ПОЛИЩУК
доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры общей физики 1 физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
plasmadust@yandex.ru

АЛЕКСЕЙ ИГОРЕВИЧ ЭЙХВАЛЬД
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики 1 физического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
eichel@e-mail.ru

О ПРИЛОЖЕНИЯХ ЛЕВИТАЦИИ ПЫЛЕВЫХ ГРАНУЛ*

Приводится обзор применений пылевой плазмы, как уже существующих и зарекомендовавших себя, так и новых перспективных ее приложений. Детально рассмотрены методы воздействия на пылевую заряженную систему, возможности ее контроля в технологических и энергетических установках. Подробно рассмотрены новые направления исследования, связанные с модификацией поверхности и разделения порошков плазмой.

Ключевые слова: пылевая плазма, технологические приложения, модификация поверхности плазмой

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные исследования комплексной (пылевой) плазмы [9], [12], [17], а также ее применение в технологических установках начались одновременно. Предсказание Икези в 1986 году существования в низкотемпературной плазме сильнокоррелированных систем с сильной связью было подтверждено в 1994 году в технологических установках плазменного травления [12], а также синтеза сферических частиц. На протяжении почти двадцати лет фронтальных исследований комплексной плазмы был получен ряд значимых приложений, а также были проведены направленные на их развитие фундаментальные исследования. Это синтез наночастиц, энергетика, экология и медицина.

Пылевые гранулы, находящиеся внутри газовых разрядных камер, способны влиять на свойства основной плазмы. Например, в работе [1] количественно были обнаружены такие влияния на вольт-амперные характеристики тлеющего разряда, а в работах [2], [20] описано изменение электронной концентрации при росте и агломерации наночастиц. Следовательно, для работы газоразрядных устройств в условиях возможного появления пылевых частиц необходимо учитывать их влияние на разряд. В энергетических устройствах и установках ИТЭР появление частиц вблизи стенок может приводить к срывам. В современных технологических процессах обработки поверхностей, плазменном травлении и напылении, пылевые частицы являются не-

© Дзлиева Е. С., Ермоленко М. А., Карасев В. Ю., Новиков Л. А., Павлов С. И., Полищук В. А., Эйхвальд А. И., 2014

желательным побочным продуктом. При изготовлении компьютерных микрочипов выбитые ионами фрагменты материала зависают в виде облаков над изготовляемыми образцами. В случае их последующего осаждения при существенной агломерации или росте размеров со временем появляется брак в выходе продукции. На производствах сегодня применяется контроль пылевых облаков, образующихся внутри технологических камер по рассеянию лазерного излучения, и используются специальные устройства для удаления частиц. Для оптимизации работы технологических устройств, в которых может появляться пылевая компонента, возникает необходимость применять стойкие к плазменному воздействию материалы (вольфрам и др.) покрытия стенок и использовать в качестве управления пылью методы динамики, развитые в последние годы в фундаментальных научных исследованиях пылевой плазмы.

Описание уже развитых приложений можно найти в литературе, например [10], [20]. В то же время возникшие новые направления исследований и обнаруженные в комплексной плазме новые физические явления показали дополнительные потенциальные возможности приложений левитирующих в комплексной плазме пылевых частиц. В обзоре представлены методы управления динамикой пылевых структур, новые возможности диагностики и применения комплексной плазмы.

ДИНАМИКА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ

Управление плазменно-пылевыми образованиями, как и отдельными частицами, осуществляется посредством действующих на них сил [5]. *Динамика пылевой плазмы* достаточно полно изучена и описана в обзорных работах и учебной литературе [9], [12], [17]. В большинстве экспериментов доминирующей силой является сила тяжести, именно она определяет условия левитации пылевых частиц в наземных лабораторных экспериментах. Наклон разрядной камеры как целого создает «скатывающую» составляющую силы тяжести, что приводит к самопроизвольному «стеканию» структуры к боковой стенке камеры, откуда ее удаление производится существенно проще. Данное воздействие было предложено в исследованиях [4] и служило для перемещения пылевой структуры внутри камеры из приосевой области к пристеночной.

Электростатическая сила в пылевой плазме, как правило, сводится к произведению заряда частицы на напряженность поля, поскольку размер гранул меньше длины экранирования. Примеры управления пылевыми структурами посредством электростатической силы подробно описаны в [5]. Часто данная сила применяется не только для удержания пылевых гранул, но и для их удаления из разрядных объемов, например, для ядерно возбуждаемой пылевой плазмы [16].

Сила термофореза, связанная с температурными градиентами в плазме, может оказаться достаточно большой и даже компенсировать вес частиц для их левитации. В [1], [2], [5] она использовалась для построения пылевых структур сложной формы. В [7] азимутально несимметричное изменение силами термофореза электростатической пылевой ловушки дало изменение в пространственном расположении пылевых частиц. Кроме того, посредством применения силы термофореза можно перемешивать несколько плазменно-пылевых образований, что может быть использовано в технологиях осаждения частиц.

Сила ионного увлечения связана с потоком плазменных частиц, передающих импульс при их направленном движении через пылевую структуру. Для субмикронных частиц данная сила может оказаться доминирующей. При воздействии внешнего магнитного поля данная сила может оказаться единственной, действующей вдоль выделенного направления, или компенсироваться действием только силы сопротивления о нейтральный газ – силы Эпштейна, или силы Стокса [14].

Левитация пылевых гранул определяется балансом сил, она существенно зависит от размера частиц и от условий в плазме [15].

Динамика пылевых частиц применяется также для *диагностики разрядов и характеристик частиц*. Диагностика тлеющего разряда является актуальной задачей, решаемой в последнее время в связи с тем, что он используется как среда для формирования плазменно-пылевых структур. В случае пылевой плазмы метод электрического зонда, как правило, неприменим, поэтому для измерения электрических характеристик разряда проводят наблюдения за инжектированными в разряд зондирующими частицами. Исследуя траектории зондирующих частиц, можно построить карты скоростей и ускорений пробных частиц. Затем можно оценить силы, действующие на эти частицы. Подобная методика использовалась в ВЧ-разряде для измерения сил, действующих на эти частицы в «войде» в центре плазменно-пылевой структуры [18], а также для измерения заряда у пылевых частиц [13].

По траекториям падающих частиц можно определять электрические характеристики разряда. В работе [8] таким методом прозондирована область пылевой ловушки в стратифицированном разряде. Если использовать для диагностики калиброванные частицы, то можно им приписать определенный заряд. Из баланса сил, действующих на эту частицу, вычислить продольную и радиальную составляющую электрического поля. Подбирая частицы определенного размера и плотности, можно прозондировать нужную для исследователя область разряда.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕВИТАЦИИ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ. ЭФФЕКТ ОТБОРА ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ

В комплексной плазме происходит самоорганизация и упорядочение пылевой компоненты. Обычно это явление наблюдается в статике, когда процесс формирования упорядоченных структур завершен. При работе с калиброванными порошками, так же как при численном моделировании, частицы рассматриваются как материальные точки, несущие на себе определенный заряд. В этой связи необходимо отметить, что такой подход игнорирует исследование самого процесса самоорганизации, при котором плазма «отбирает» частицы, способные остаться в плазменно-пылевой структуре. В работе [3] недавно применен другой подход к изучению процесса самоорганизации в пылевой плазме через количественное изучение отбора частиц, которое может быть реализовано в эксперименте. Применяется полидисперсный порошок с широким разбросом размеров и формы частиц. Далее, из пылевой ловушки собирается и извлекается плазменно-пылевое образование, оценивается размер и форма отобранных плазмой реально левитирующих частиц. Приведем гистограмму распределений частиц по размерам, полученную в стандартных условиях наблюдения – в стратифицированном тлеющем разряде в неоне (рис. 1). Выполненные численные оценки левитации частиц через баланс сил, действующих на пылевые гранулы в стратифицированном разряде, хорошо согласуются с обнаруженным размером и формой частиц в работе [3]. Обнаружение отбора частиц принципиально позволяет использовать плазму как устройство для разделения порошков.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОТБОРА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ И МОДИФИКАЦИИ ПЫЛЕВЫХ ГРАНУЛ

Проведенные к настоящему времени исследования модификации поверхности плазмой в основном сводятся к изучению плазменной обработки поверхностей плазмой, содержащей высокоэнергетичные ионы, в меньшей степени отражают исследования модификации ППС. Можно перечислить решаемые задачи и отметить результаты, важные для применения в пылевой плазме.

1) В присутствующей пылевой плазме в установках синтеза частиц выращиваются сферические гранулы размером до нескольких микрометров. Синтез и выращивание сферических частиц из газовой фазы происходят в пылевой плазме [11]. В газовых безэлектродных камерах в химически активных газах и смесях выращиваются сферические нано- и микрочастицы на уровне масштабного производства. Применяется метан-аргоновая, силан-кислородная и другие газовые смеси. В качестве затравки применяются наноразмерные частицы, являющиеся стоком плазменного потока и центрами осаждения материала. Размер гранул и скорость их роста регулируются подводимой мощностью ВЧ-разряда.

2) Изучается изменение рельефа облучаемой плазмой поверхности в целях как развития, так и сглаживания рельефа. Изменение (модификация) рельефа реализуется, как правило, в плазмах с высокоэнергетичными ионами. Потоки плазмы неоднородно распыляют рельеф на различных участках. Получены результаты с металлическими и диэлектрическими материалами поверхностей. Развитие рельефа обусловлено разными скоростями эрозии соседних участков поверхности. Так, в поликристаллических поверхностях крупномасштабные элементы рельефа обусловлены различной ориентацией кристаллитов поверхности. В многофазных сплавах, кроме названных причин, работают различные величины коэффициентов распыления фаз. Конические выступы и пирамиды на поверхности рельефа обусловлены наличием инородных включений и слабораспыляемых преципитатов. Появление углублений на поверхности травления связано с выходом дислокаций на поверхность. В образовании рельефа неметаллических веществ дополнительную роль, ускоряющую и даже доминирующую, играют электроны.

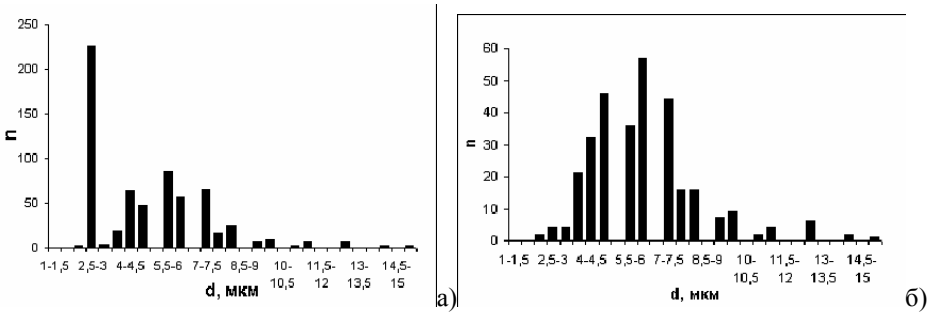


Рис. 1. Распределение частиц, извлеченных из пылевой ловушки в страте в Ne, по размерам. Условия: P = 0,3 Торр, i = 1,6 мА. а) Все извлеченные частицы; б) частицы некомпактной (вытянутой) формы. Распределение построено по 400 частицам

В ряде случаев причины изменения рельефа выявлены недостаточно. При нормальном облучении поверхности аморфных тел ионами инертных газов наблюдается полировка – сглаживание рельефа и предотвращение его развития. Для поликристаллических материалов эффект обеспечивают ионы с энергиями до 100 эВ. Полировка металла в области надпороговых энергий ионов достигнута при наклонном облучении.

Развитие рельефа может происходить как следствие радиационно-стимулированных процессов в объеме твердого тела. Установлено, что ионные и плазменные потоки инициируют процессы в приповерхностных слоях. Появляются поверхностные напряжения, активируется диффузия, может изменяться фазовый и компонентный состав материала. Данные процессы сегодня достаточно изучены, по их описанию существует обширный материал.

3) Исследуется возможность изменения физических и химических свойств поверхности – адгезии, гидрофильности. Облучение плазмой, в частности волокон и полимерных материалов, используется для изменения прочности сцепления поверхности. Обработка в плазмообразующих газах – кислороде, азоте, аргоне и других приводит к увеличению поверхностной энергии полимеров. В результате меняются гидрофильность и адгезия. Появление новых функциональных групп и активных центров позволяет менять свойство поверхности также и при помощи последующей прививки молекул других газов, обладающих требуемыми качествами.

4) Нанесение на поверхность частиц покрытий из материала, отличного от материала частиц. Порошковые частицы железа 2 мкм размера в плазме ВЧ-разряда покрывались слоем алюминия при его распылении в магнетроне. Показано, что данный способ является новым шагом в порошковой модификации, реализуемой в пылевой плазме. Также показано, что форма частиц зависит от материала. Медное и алюминиевое покрытие приводит к росту несферической формы частиц, а графит, титан и вольфрам дают компактные частицы сферической формы.

5) Исследования в разных типах газов и разных разрядах, направленные на установление механизмов модификации поверхности. Использование различных способов создания плазмы и условий в плазме позволяет получать избирательную модификацию поверхности и исследовать ее механизм. В частности, исследования в дуговых и искровых разрядах показали роль сверхэнергетичных ионов в полях до 500 МВ/м для формирования кратеров на поверхности меди размером до 10 мкм, сравнимых с размерами частиц в пылевой плазме. В данных условиях показана роль высокоэнергетичных ионов, а также высокоплотных плазменных потоков ионов и нейтралов на поверхность [19].

ДАЛЬНЕЙШИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ

Из приведенного выше обзора можно видеть несколько новых перспективных приложений комплексной плазмы, она может с успехом применяться для следующих задач:

1) Очистка поверхности;

2) Выравнивание и модификация поверхности;

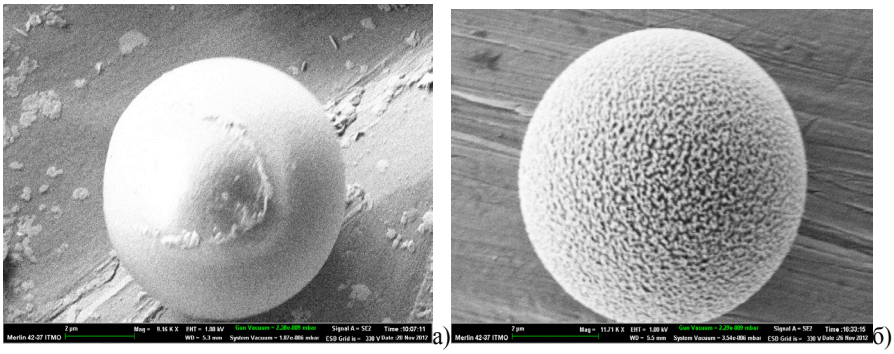
3) Прецизионное осаждение частиц;

4) Отбор частиц в различных диапазонах;

5) Диагностика плазмы;

6) Исследование экстремальных состояний и новых свойств вещества.

Проиллюстрируем некоторые из них. Рис. 2 доказывает возможность равномерной всесторонней модификации поверхности. Подобные результаты также были получены в [6]. Тонкое разделение порошков плазмой возможно в широком диапазоне размеров частиц. Исследование новых свойств вещества, «мягкой материи», возможно в плазменно-пылевых структурах. К их числу относятся экстремальный поверхностный заряд вещества, аномальные вязкостные и магнитные свойства.



а) б)

Рис. 2. Образцы изображений пылевых гранул, полученных с помощью электронного микроскопа, для пылевых частиц меламин-формальдегида до погружения в плазму – а) и после непродолжительного помещения в страту в разряд в неоне – б). Видно появление на поверхности хорошо структурированного «плазменного» рисунка

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленном обзоре описаны реализации приложений пылевой плазмы, как уже имеющиеся, так и потенциальные, основанные на последних фундаментальных исследованиях. Представлены методы управления плазменно-пылевыми образованиями на основе динамики пылевых частиц.

*Работа поддержана грантом РНФ № 14-12-00094.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василяк Л. М. и др. Кооперативный характер образования пылевых структур в плазме // ЖЭТФ. 2002. Т. 121. Вып. 3. С. 609–613.
2. Василяк Л. М. и др. Пылевые частицы в термофоретической ловушке в плазме // ЖЭТФ. 2003. Т. 123. Вып. 3. С. 493–497.
3. Дзлиева Е. С., Карасев В. Ю., Эйхвальд А. И., Иванов А. Ю. Об управлении ППС в лабораторных экспериментах и технологических процессах // Лазерные исследования в СПбГУ. СПб., 2009. С. 171–179.
4. Дзлиева Е. С., Карасев В. Ю., Эйхвальд А. И. О гипотезе вращения газа в магнитомеханическом эффекте // Оптика и спектроскопия. 2004. Т. 97. № 1. С. 107–113.
5. Дзлиева Е. С., Ермоленко М. А., Карасев В. Ю. Определение размеров левитирующих частиц в пылевой плазме в тлеющем разряде // ЖТФ. 2012. Т. 82. № 1. С. 147–150.
6. Жариков Н. Е., Пискунов А. А., Подрядчиков С. Ф., Семенов А. В., Хахаев А. Д., Щербина А. И. Модификация свойств плазменно-пылевых структур и микрочастиц в комплексной плазме // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2010. № 6 (111). С. 99–108.
7. Карасев В. Ю., Иванов А. Ю., Дзлиева Е. С., Эйхвальд А. И. Об упорядоченных пылевых структурах, формируемых в тлеющем разряде // Журн. эксп. теор. физ. 2008. Т. 133. Вып. 2. С. 460–465.
8. Карасев В. Ю., Эйхвальд А. И., Дзлиева Е. С. Применение зондирующих пылевых частиц для исследования стратифицированного разряда с плазменно-пылевыми структурами в магнитном поле // Оптика и спектроскопия. 2006. Т. 101. № 3. С. 503–510.
9. Цытович В. Н. Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака // УФН. 1997. Т. 167. С. 57–99.
10. Цытович В. Н., Морфилл Г. Е., Томас Х. Комплексная плазма: IV. Теория комплексной плазмы. Приложения // Физика плазмы. 2004. Т. 30. № 10. С. 877–929.
11. Chu J. H., Lin I. Direct observation of Coulomb crystals and liquids in strongly coupled rf dusty plasmas // Phys. Rev. Lett. 1994. Vol. 72. P. 4009–4012.
12. Dusty plasmas / Ed. by A. Boushoule. Orlean, 1999. 408 p.
13. Fortov V. E., Petrov O. F., Usachev A. D., Zobnin A. V. Micron-sized particle-charge measurements in an inductive rf gas-discharge plasma using gravity-driven probe grains // Phys. Rev. E. 2004. Vol. 70. P. 046415.
14. Karasev V. Yu., Dzlieva E. S., Ivanov A. Yu., Éikhval'd A. I. Rotational motion of dusty structures in glow discharge in longitudinal magnetic field // Phys. Rev. E. 2006. Vol. 74. P. 066403.
15. Nunomura S., Ohno N., Takamura S. Effects of Ion Flow by Drift on Dust Particle Behavior in Magnetized Cylindrical Electron Cyclotron Resonance Plasmas // Jpn. J. Appl. Phys. 1997. Vol. 36. Part 1. № 2. P. 877–883.
16. Sato N. Dust collection and removal – NFP collector // Thin Solid Films. 2004. Vol. 457. P. 285.
17. Shukla P. K., Mamun A. A. Introduction to Dusty Plasma Physics. IoP Publishing. London, 2002. 271 p.
18. Thomas E. Jr., Annaratone B. M., Morfill G. E., Rothermel H. Measurements of forces acting on suspended microparticles in the void region of a complex plasma // Phys. Rev. E. 2002. Vol. 66. P. 016405.
19. Timko H. et al. Mechanism of surface modification in the plasma-surface interaction in electrical arcs // Phys. Rev. 2010. B. 81. 184109.
20. Vladimirov S. V., Ostrikov K., Samarian A. A. Physics and Applications of Complex Plasmas / Imperial College. London, 2005.

Dzlieva E. S., St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)
Ermolenko M. A., St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)
Karasev V. Yu., St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)
Novikov L. A., St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)
Pavlov S. I., St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)
Polishchuk V. A., St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)
Eykhval'd A. I., St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)

ABOUT APPLICATIONS OF THE DUST GRANULES LEVITATION

The applications of dust plasma as already existing and proved as its new perspective appendices are reviewed in the article. The methods of influence on the dust charged system, possibilities of its control in technological and power installations are considered in details. The new directions of research connected with modification of grain surface and division of powders by plasma are discussed.

Key words: dust plasma, technological applications, modification of a surface by plasma

REFERENCES

1. Vasilyak L. M. et al. Cooperative nature of the formation of dust structures in plasma [Kooperativnyy kharakter obrazovaniya pylevykh struktur v plazme]. *Zh. Exp. Teor. Fiz.* 2002. Vol. 121. Issue 3. P. 609–613.

2. Vasilyak L. M. et al. Dust particles trapped in thermophoretic [Pylevye chastitsy v termoforeticheskoy lovushke v plazme]. *Zh. Exp. Teor. Fiz.* 2003. Vol. 123. Issue 3. P. 493–497.
3. Dzlieva E. S., Karasev V. Yu., Eykhval'd A. I., Ivanov A. Yu. On the control of DPS in laboratory experiments and processes [Ob upravlenii PPS v laboratornykh eksperimentakh i tekhnologicheskikh protsessakh]. *Lazernye issledovaniya v SPbGU* [Laser Research in SPbSU]. St. Petersburg, 2009. P. 171–179.
4. Dzlieva E. S., Karasev V. Yu., Eykhval'd A. I. About hypothesis rotation of the gas in the magnetomechanical effect [O gipoteze vrashcheniya gaza v magnitomekhanicheskom effekte]. *Opt. and Spectr.* 2004. Vol. 97. № 1. P. 107–113.
5. Dzlieva E. S., Ermolenko M. A., Karasev V. Yu. Sizing levitating particles in a dusty plasma glow discharge [Opredelenie razmerov levitiruyushchikh chastits]. *Zhurn. Tech. Fiz.* 2012. Vol. 82. № 1. P. 147–150.
6. Zharikov N. E., Piskunov A. A., Semenov A. V., Khakhaev A. D., Shcherbina A. I. Modification of the properties of plasma-dust structures and micro-particles in the complex plasma [Modifikatsiya svoystv plazmenno-pylevykh struktur i mikrochastits v kompleksnoy plazme]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya:* "*Estestvennye i tekhnicheskie nauki*" [Proceedings of the Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2010. № 6 (111). P. 99–108.
7. Karasev V. Yu., Ivanov A. Yu., Dzlieva E. S., Eykhval'd A. I. On ordered dust structures formed in a glow discharge [Ob uporyadochennykh pylevykh strukturakh, formiruemykh v tleyushchem razryade]. *Zh. Exp. Teor. Fiz.* 2008. Vol. 133. Issue 2. P. 460–465.
8. Karasev V. Yu., Eykhval'd A. I., Dzlieva E. S. Application of sounding dust particles for study stratified discharge dusty plasma structures in magnetic field [Primenenie zondiruyushchikh pylevykh chastits dlya issledovaniya stratifitsirovannogo razryada s plazmenno-pylevymi strukturami v magnitnom pole]. *Opt. and Spectr.* 2006. Vol. 101. № 3. P. 503–510.
9. Tsytovich V. N. Dusty crystals, drops and clouds [Plazmenno-pylevye kristally, kapli i oblaka]. *Uspekhi fizicheskikh nauk.* 1997. Vol. 167. P. 57–99.
10. Tsytovich V. N., Morfill G. E., Tomas Kh. Complex Plasmas: IV. The theory of complex plasma. Applications [Kompleksnaya plazma: IV. Teoriya kompleksnoy plazmy. Prilozheniya]. *Phys. plasm.* 2004. Vol. 30. № 10. P. 877–929.
11. Chu J. H., Lin I. Direct observation of Coulomb crystals and liquids in strongly coupled rf dusty plasmas // Phys. Rev. Lett. 1994. Vol. 72. P. 4009–4012.
12. Dusty plasmas / Ed. by A. Boushoule. Orlean, 1999. 408 p.
13. Fortov V. E., Petrov O. F., Usachev A. D., Zobnin A. V. Micron-sized particle-charge measurements in an inductive of gas-discharge plasma using gravity-driven probe grains // Phys. Rev. E. 2004. Vol. 70. P. 046415.
14. Karasev V. Yu., Dzlieva E. S., Ivanov A. Yu., Éikhval'd A. I. Rotational motion of dusty structures in glow discharge in longitudinal magnetic field // Phys. Rev. E. 2006. Vol. 74. P. 066403.
15. Nunomura S., Ohno N., Takamura S. Effects of Ion Flow by $\vec{E}\times\vec{B}$ Drift on Dust Particle Behavior in Magnetized Cylindrical Electron Cyclotron Resonance Plasmas // Jpn. J. Appl. Phys. 1997. Vol. 36. Part 1. № 2. P. 877–883.
16. Sato N. Dust collection and removal – NFP collector // Thin Solid Films. 2004. Vol. 457. P. 285.
17. Shukla P. K., Mamun A. A. Introduction to Dusty Plasma Physics. IoP Publishing. London, 2002. 271 p.
18. Thomas E. Jr., Annaratone B. M., Morfill G. E., Rothermel H. Measurements of forces acting on suspended microparticles in the void region of a complex plasma // Phys. Rev. E. 2002. Vol. 66. P. 016405.
19. Timko H. et al. Mechanism of surface modification in the plasma-surface interaction in electrical arcs // Phys. Rev. 2010. B. 81. 184109.
20. Vladimirov S. V., Ostrikov K., Samarian A. A. Physics and Applications of Complex Plasmas / Imperial College. London, 2005.

Поступила в редакцию 15.12.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 535.13

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

ДИФРАКЦИОННЫЕ ПОТЕРИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАЗЕРОВ ПО ПОПЕРЕЧНЫМ МОДАМ*

Представлены результаты численно-аналитических исследований дифракционных потерь в сложных открытых резонаторах. Использованы известные численные данные и предложены интерполяционные формулы для дифракционных потерь, полученные с применением законов подобия резонаторов. При этом удалось существенно расширить область применимости результатов на многоэлементные резонаторы, содержащие гауссовские и негауссовские элементы (диафрагмы с резкими краями, разрядный капилляр). Метод позволяет определять конфигурацию резонаторов, обеспечивающую генерацию основной поперечной моды, распределение мощности по поперечным модам при многомодовой генерации и зависимость мощности от разъюстировки зеркал резонатора.

Ключевые слова: открытый оптический резонатор, гауссовские и негауссовские элементы, дифракционные потери, разъюстировка

ВВЕДЕНИЕ

Дифракционные потери являются важнейшей характеристикой открытого оптического резонатора, так как определяют его свойства как селектора поперечных мод. В классической работе [16] с помощью численного решения интегральных уравнений Ли для поля излучения получены зависимости дифракционных потерь мод TEM_{00} и TEM_{01} от числа Френеля N и параметра устойчивости резонатора g для симметричного и плоскосферического резонаторов, образованных зеркалами диаметром $2a$.

В многочисленных попытках разработать аналитические методы расчета потерь в сложных многоэлементных резонаторах, применяемых на практике, результаты [16] использовались как численный эксперимент. Так, в работе [12] предложено рассчитывать потери методом эквивалентного конфокального резонатора. Этот метод дает лишь разумную оценку потерь. В работах [4], [13] ограниченные зеркала или диафрагмы с резкими краями (торцы разрядных капилляров) заменялись соответствующим образом подобранными гауссовскими диафрагмами. Этот метод дает хорошие результаты в случае малых чисел Френеля и соответствующих больших дифракционных потерь.

В работах [8], [9] использовался аналитический метод расчета, основанный на принципе Бабине, дающий хорошие результаты при малых потерях за исключением конфигураций резонатора, близких к границе устойчивости. В работе [17] предпринята попытка получения формулы для расчета потерь в резонаторах с одной или несколькими диафрагмами, моделирующими разрядный капилляр. Ошибочность полученных там результатов обусловлена пренебрежением связью между интегральными уравнениями, описывающими дифракцию излучения в различных частях резонатора.

Подход, предложенный в данной работе, основан на использовании результатов [16] и законов подобия резонаторов. Он позволяет рассчитывать дифракционные потери основной и высших поперечных мод в сложных многоэлементных резонаторах, содержащих гауссовские и негауссовские элементы. Знание дифракционных потерь для мод TEM_{pl} Λ_{pl} позволяет установить, сколько и какие моды генерируют, их распределение по мощности и границу одномодовой генерации, производить расчет таких важных характеристик выходного пучка, как его диаметр и расходимость при заданной конфигурации резонатора, а также определить зависимость выходной мощности от разъюстировки зеркал резонатора.

ДИФРАКЦИОННЫЕ ПОТЕРИ В ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРАХ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

В работе [11] путем обработки численных данных [16] получены аппроксимационные формулы для расчета потерь TEM_{00} *и* TEM_{01}-мод в симметричном (g_1=g_2=g) и плоско-сферическом (g_1 = g, g_2 = 1 или g_1 = g, g_2 = g) резонаторах с зеркалами диаметром $2a$*:*

$$\Lambda_{pl}^{s,h}(N,g) = \frac{exp\left\{-A(1-|g|)N^{B-C|g|}\right\}}{1+aN^{b}}, \qquad (1)$$

где *A, B, C, a, b* – постоянные, отредактированные численные значения которых приведены в таблице; нижними индексами *p, l* обозначены величины, относящиеся к TEM_{pl}-моде, а верхними индексами

© Мольков С. И., 2014

s и *h* величины, относящиеся к симметричному и плоско-сферическому резонатору соответственно.

Значения постоянных в формуле (1)

	a	*b*	*A*	*B*	*C*
TEM^{s}_{00}	4,86	1,41	5,83	2,1	0,36
TEM^{h}_{00}	-//-	-//-	2,26	3,08	1,16
TEM^{s}_{01}	1,62	1,46	3,76	2,05	0,25
TEM^{h}_{01}	-//-	-//-	0,774	3,28	0,96

На рис. 1а представлены результаты расчетов дифракционных потерь по формуле (1) для моды TEM^{S}_{00} в сравнении с данными [16], иллюстрирующими ее корректность.

Аналогичная точность реализуется и для мод TEM^{h}_{00} и $TEM^{S,h}_{01}$. Существенным преимуществом формулы (1) по сравнению с предложенными ранее в [3], [5] является отсутствие ограничений на величину N и аналитическая зависимость от *g*. Отметим, что $\Lambda^h(N,g)\approx\Lambda^h(N,1-|g|)$, а это позволяет распространить результаты расчета Λ^h на область |g|– 0÷0,5.

Для получения интерполяционной формулы, справедливой во всей области устойчивости резонаторов $0\le g_1g_2\le 1$, рассмотрим случай, когда $|g_1|>>|g_2|$. Отношение радиусов пучка основной моды на зеркалах w_1/w_2, рассчитанное для двухзеркального резонатора без диафрагм, согласно [14], равно: $\sqrt{g_2/g_1}\ll 1$ или $w_1\ll w_2$.

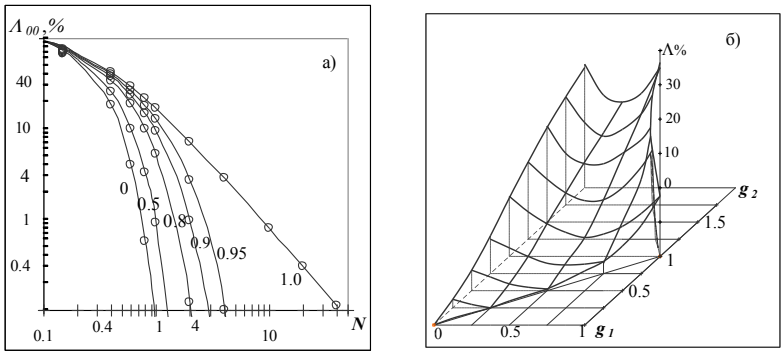


Рис. 1. а) Зависимость дифракционных потерь моды TEM_{00} от числа Френеля N для симметричного резонатора: численный расчет [1], ° – расчет по аппроксимационной формуле (1). Цифры у кривых – значения g.
б) Зависимость дифракционных потерь Λ_{00} от параметров устойчивости резонатора g_1 и g_2 при N = 1

Поскольку для генерации радиус w_2 должен быть сравним с *a*, то $w_1\ll a$ и в интегральных уравнениях, описывающих поле излучения в резонаторе, можно заменить конечный радиус первого зеркала на бесконечный. Задача о нахождении потерь при этом сводится к известному случаю резонатора с одним диафрагмированным зеркалом [15]:

$$\Lambda(N,g_1,g_2)\to\Lambda^d\left(\frac{N}{2|g_1|},g_{eq}\right)=1-\sqrt{1-\Lambda^s\left(\frac{N}{2|g_1|},g_{eq}\right)}, \quad (2)$$

при $|g_1|>>|g_2|$; $g_{eq}=2g_1g_2-1$. При $|g_2|>>|g_1|$ получаем аналогичную формулу с заменой индексов 1↔2.

С использованием выражений (1), (2) в настоящей работе получена интерполяционная формула для расчета дифракционных потерь мод TEM_{00} и TEM_{01} в резонаторах произвольной конфигурации, согласующаяся с известными частными случаями и удовлетворяющая законам подобия резонаторов:

$$\Lambda(N,g_1,g_2)= \quad (3)$$

$$=\begin{cases}\Lambda^s(N,g_m)+\left(\frac{g_1-g_2}{1-g_m}\right)^k\left[\Lambda^h(N,g_m)-\Lambda^s(N,g_m)\right], & g_M\le 1\\ \Lambda^d\left(\frac{N}{2g_M},g_{eq}\right)+\frac{1}{g_M^2}\left[\Lambda^h(N,g_m)-\Lambda^d\left(\frac{N}{2},2g_m-1\right)\right], & g_M>1\end{cases}$$

где $g_m=min\{|g_1|,|g_2|\}$; $g_M=max\{|g_1|,|g_2|\}$.

Показатель степени *k* должен обеспечивать непрерывную дифференцируемость функции Λ в области устойчивости резонатора и приближенно равен 1,5. Эта формула дает точные значения потерь для симметричного и плоскосферического резонаторов, удовлетворяет законам подобия и при $|g_1|>>|g_2|$ или $|g_2|>>|g_1|$ асимптотически описывает потери в соответствии с выражением (2). На рис. 1б для иллюстрации приведена рассчитанная по формулам (1), (3) зависимость дифракционных потерь от g_1 и g_2 в области $0\le g_1g_2\le 1$, $g_2\ge g_1\ge 0$. Численное решение интегральных уравнений Ли для ряда конфигураций резонаторов при различных числах Френеля позволяет оценить точность интерполяционной формулы в 5 % [10].

ПОТЕРИ В МНОГОЭЛЕМЕНТНОМ РЕЗОНАТОРЕ

Формулу (3) можно обобщить на случай сложного резонатора с произвольным числом гауссовых элементов, расположенных между двумя диафрагмированными зеркалами с диаметрами $2a_1$ и $2a_2$ соответственно. Пусть A_0, B_0, C_0, D_0 – элементы матрицы передачи набора оптических элементов, включая активную среду с квадратичным распределением в радиальном

направлении показателя преломления и коэффициента усиления, расположенных между зеркалами 1 и 2 с радиусами кривизны R_1 и R_2 соответственно. Тогда, произведя в интегральном преобразовании Кирхгофа в приближении Френеля [2] замену переменных $x=r_1/a_1$, $y=r_2/a_2$, $\varphi_1(x)=a_1Y_1(r_1)$, $\varphi_2(y)=a_2Y_2(r_2)$, получим систему интегральных уравнений:

$$\gamma_1\varphi_2(y)=\int_0^1 L_1(y,x)\varphi_1(x)xdx,$$
$$\gamma_2\varphi_1(x)=\int_0^1 L_2(x,y)\varphi_2(y)xdy, \qquad (4)$$

где Y_1, Y_2 – радиальные распределения комплексных амплитуд пучка перед зеркалами 1 и 2; $\Lambda_1=1-|\gamma_1|^2$, $\Lambda_2=1-|\gamma_2|^2$ – потери мощности при отражении от диафрагмированных зеркал; ядра уравнений L_1 и L_2 определяются формулой: $L_1(y,x)=L_2(x,y)=i^{l+1}2\pi NJ_1(2\pi Nxy)exp\{-i\pi N(G_1x_1^2+G_2y^2)\}$, а $N=a_1a_2/\lambda B$; $G_1=a_1A/a_2$, $G_2=a_2D/a_1$ – параметры подобия резонатора; $B=B_0$, $A=A_0-B_0/R_1$, $D=D_0-B_0/R_2$ – элементы матрицы передачи оптической системы, заключенной между диафрагмами 1 и 2.

Поскольку уравнения (4) совпадают с соответствующими уравнениями для «пустого» резонатора с параметрами: $N=a^2/\lambda L$, g_1, g_2, то для расчета эффективных потерь на проход в сложном резонаторе нужно использовать выражение (3), произведя замену $a^2/\lambda L\to a_1a_2/\lambda B$, $g_1\to G_1$, $g_2\to G_2$. Связь потерь на обход резонатора и эффективных потерь на проход дается выражениями:

$$\Lambda_{12}=1-|\gamma_1\gamma_2|^2=\Lambda_1+\Lambda_2-\Lambda_1\Lambda_2,\ \ \Lambda=1-\sqrt{1-\Lambda_{12}}\ . \quad (5)$$

Рассмотренный случай расчета дифракционных потерь имеет практическое значение для сложных резонаторов, в которых селекция поперечных мод осуществляется с использованием диафрагмы, помещенной вблизи одного из зеркал, там, где диаметр пучка больше. В открытых резонаторах с диафрагмами или капилляром, торцы которого играют роль диафрагм, интегральное преобразование Френеля необходимо использовать столько раз, сколько пучок проходит через диафрагмы при полном обходе резонатора. Из условия самовоспроизводства поля при замкнутом цикле можно получить систему интегральных уравнений, позволяющих рассчитывать распределение амплитуды и фазы поля в выбранном сечении и определять дифракционные потери.

ПОТЕРИ В РЕЗОНАТОРЕ С КАПИЛЛЯРОМ

В большинстве случаев для газоразрядных лазеров используют резонатор, в котором лазерное излучение ограничено не краями зеркал или диафрагмой, а разрядным капилляром. В этом случае формулой (3) можно пользоваться только когда длина капилляра L_a близка к длине резонатора L. Реально торцы разрядного капилляра, играющие роль диафрагм, находятся на некотором, часто значительном расстоянии от зеркал. Ясно, что для расчета потерь в этом случае необходимо решить систему четырех связанных интегральных уравнений типа (4). Именно неучет этого фактора в [17] делает ее результаты ошибочными. В данной работе для резонатора с капилляром был использован другой подход.

Для оценки потерь используем эквивалентное число Френеля и параметры устойчивости резонатора [15]:

$$N_{eq}=\frac{a_1a_2}{\lambda L},\ G_1=\frac{a_1}{a_2}g_1,\ G_2=\frac{a_2}{a_1}g_2, \qquad (6)$$

где λ – длина волны излучения; $a_i=(w_ia)/w_{\kappa i}$ – эффективный радиус i-й диафрагмы; a – радиус капилляра; w_i, $w_{\kappa i}$ – радиусы пучка излучения на i-м зеркале и на ближайшем к нему торце капилляра. Проводя расчеты w_i и $w_{\kappa i}$ по «пустому» резонатору с неограниченными зеркалами [14], для эквивалентных параметров (6) получаем:

$$N_{eq}=N|G|\sqrt{\frac{g_1g_2}{\gamma_1\gamma_2}},\ \ G_1=g_1\sqrt{\frac{g_2\gamma_2}{g_1\gamma_1}},\ \ G_2=g_2\sqrt{\frac{g_1\gamma_1}{g_2\gamma_2}}, \qquad (7)$$

где $G=g_1+g_2-2g_1g_2$; $\gamma_i=\beta+[(1-g_i)g_j-\frac{L_i}{L}G]^2$; $\beta=g_1g_2(1-g_1g_2)$; L_i – расстояние от i-го зеркала до торца капилляра; $N=a^2/\lambda L$.

Расчет дифракционных потерь производится по формуле (3) с заменой N, g_1, g_2 на эквивалентные параметры согласно (7).

Выбор эквивалентных параметров в форме (7) продиктован, помимо соображений работы [15], необходимостью согласования наших результатов с предельным случаем короткого капилляра ($L_a\to0$) или резонатора с диафрагмой. Резонатор с внутренней диафрагмой эквивалентен двухзеркальному резонатору с ограниченными зеркалами при нескольких положениях диафрагм [1]. Так, при $L_1/L=(1+\sqrt{g_1/g_2})^{-1}$ для эквивалентных параметров из формул (7) получаем:

$$N_{eq}=\frac{N}{2}\sqrt{\frac{g_2}{g_1}}(1+\sqrt{\frac{g_1}{g_2}})^2(1+\sqrt{g_1g_2})^{-1},\ \ G_1=G_2=\sqrt{g_1g_2},$$

что точно соответствует результатам [1]. При этом дифракционные потери, согласно (3), равны $\Lambda=\Lambda^s(Neq,\sqrt{g_1/g_2})$. Для конфокального резонатора ($g_1=g_2=0$), учитывая, что $\sqrt{g_1/g_2}=(L-L_1)/L$, из этой формулы получаем точное выражение дифракционных потерь при любом положении диафрагмы:

$$\Lambda=\Lambda^s(\frac{NL^2}{2L_2(L-L_1)},0).$$

ГЕНЕРАЦИЯ МНОГИХ ПОПЕРЕЧНЫХ МОД

Значение дифракционных потерь основной и первой поперечных мод достаточно для целей расчета мощности основной моды и определения границы одномодовой генерации. При многомодовой генерации для определения распределения мощности по модам необходимо знание дифракционных потерь высших мод. Для дифракционных потерь TEM_{pl}-моды, используя метод эквивалентного конфокального резонатора [6], получаем:

$$\Lambda_{pl} = \frac{2\pi\left(8\pi N_{eq}\right)^{2p+l-1}}{p!\left(p+l\right)!}\exp\left\{-4\pi N_{eq}\right\}, \qquad (8)$$

где $N_{eq} = N\sqrt{1-g_1 g_2}$ – эквивалентное число Френеля. Точность расчета по формуле (8) повышается при конфигурациях резонатора, близких к конфокальным (g_1=g_2=0), а также при $N \to \infty$. Используя (8), выразим потери Λ_{pl} через потери основной Λ_{00} и первой Λ_{01}-мод. Получим выражение:

$$\Lambda_{pl} = \frac{\Lambda_{00}}{\left(p+l\right)!}\left(\frac{\Lambda_{01}}{\Lambda_{00}}\right)^{2p+l}, \qquad (9)$$

которым можно пользоваться для определения потерь высших мод. При $\Lambda_{pl} > 1$ необходимо положить $\Lambda_{pl} = 1$.

Знание дифракционных потерь высших мод Λ_{pl} и позволяет определить, сколько и какие моды генерируют и их распределение по мощности. Метод расчета основан на моделировании процесса развития генерации, начиная с основной или первой моды. Рассмотрим суть метода на примере лазера с квазиоднородным уширением линии генерации, когда в пределы контура усиления попадает несколько собственных частот резонатора ν_q, для которых межчастотный интервал *c/2L* сравним с лоренцевской шириной линии.

Коэффициент усиления для прямой и обратной волн излучения генерации на приведенной частоте $x = (\nu - \nu_0)/\Delta\nu_0$, где $\Delta\nu_0 = \Delta\nu_D / 2\sqrt{ln2}$; $\Delta\nu_D$ – доплеровская ширина линии, имеет вид:

$$g^{\pm}\left(x\right) = \frac{g_0 e^{-x^2}}{1 + I\left(x\right)/I_0}, \qquad (10)$$

где g_0, I_0 – ненасыщенный коэффициент усиления для центра линии и интенсивность насыщения; *I(x)* – спектральная плотность интенсивности внутрирезонаторного излучения. Рассмотрим открытый резонатор с активной средой, заключенный в цилиндрический разрядный капилляр радиуса *a* и длиной L_a. Используя цилиндрическую систему координат для локального коэффициента усиления в точке (*z*, *r*, φ) на приведенной частоте x при генерации многих аксиальных и нескольких поперечных мод, используя (10) и выражение $I = \sum_{p,l} W_{pl}\left|\psi_{pl}\right|^2$, имеем:

$$g\left(x,z,r,\varphi\right) = \frac{g_0\left(z,r\right)e^{-x^2}}{1 + \sum_{p,l} W_{pl}\left(x\right)\left|\Psi_{pl}\left(z,r,\varphi\right)\right|^2 / I_o\left(z,r\right)}, \qquad (11)$$

где среда предполагается аксиально симметричной, а ψ_{pl} – нормированная комплексная амплитуда пучка; W_{pl} (*x*) – спектральная плотность мощности внутри резонаторного излучения TEM_{pl}-моды на частоте x. Суммирование ведется по всем генерирующим модам.

Система уравнений для расчета W_{pl} *(x)* с учетом выражения (11) имеет вид:

$$e^{-x^2}\int_0^{L_a} dz \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{a} \frac{g_0\left|\Psi_{pl}\right|^2 rdr}{1 + \sum_{m,n} W_{mn}\left(x\right)\left|\Psi_{mn}\right|^2 / I_o} = L_a K_{loss}^{pl}, \qquad (12)$$

где K_{loss}^{pl} – коэффициент потерь TEM_{pl}-моды. Число уравнений (12) равно числу генерирующих мод. Физический смысл этих уравнений заключается в равенстве потерь моды TEM_{pl} среднему по объему активной среды, насыщенному всеми остальными генерирующими модами коэффициенту усиления для рассматриваемой моды. Расчет прекращается, когда выполняется неравенство:

$$\frac{1}{L_a}\int_0^{L_a} dz \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{a} \frac{g_0\left|\Psi_{M+1}\right|^2 rdr}{1 + \frac{1}{I_o}\sum_{j=1}^{M} W_j\left(0\right)\left|\Psi_j\right|^2} < K_{loss}^{M+1}, \qquad (13)$$

выражающее тот факт, что насыщенный генерирующими модами коэффициент усиления для *M*+1-моды меньше потерь для нее. Здесь для простоты двойную индексацию мод (*pl*) заменили одинарной (*i*) в соответствии с ростом дифракционных потерь.

Система уравнений (12) позволяет рассчитывать частотную зависимость W_{pl}*(x)* и распределение мощности W_{pl} по модам:

$$W_{pl} = 2\int_0^{x_{pl}} W_{pl}\left(x\right)dx, \qquad (14)$$

где x_{pl} – значение приведенной частоты, при которой $W_{pl}(x)=0$.

На рис. 2 изображены рассчитанные зависимости нормированных мощностей $N_{pl} = W_{pl}/\left(\pi\overline{w}^2 I_0\right)$ от числа Френеля резонатора *N* и параметра конфигурации *g* для симметричного изотропного резонатора с диафрагмами на зеркалах при $\overline{g}_0$=10-2см-1, λ=0,483 мкм, $g_0(r)$ = $= 1{,}47\,\overline{g}_0[1 - 0{,}21(r/a)^2 - 0{,}65(r/a)^4]$; L_a=20 см, $K_0=10^{-3}$ см$^{-1}$ – коэффициент потерь без учета дифракционных.

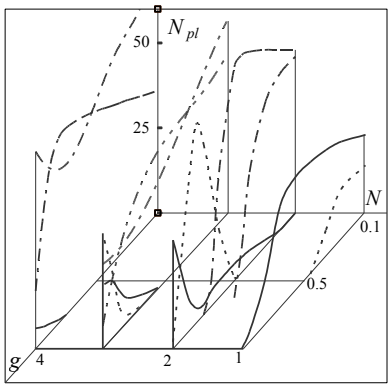


Рис. 2. Зависимость нормированной выходной мощности N_{pl} от числа Френеля N и параметра устойчивости g для симметричного резонатора: —– N_{00}, - - – N_{01}, -•– N_{10}, -.. -.. – высшие моды (N_{11}+N_{20})

Данные этого рисунка представляют общие закономерности распределения мощности по модам. Видно, что число генерирующих мод увеличивается с ростом N и уменьшается с ростом g. Наблюдаемые закономерности обусловлены изменением дифракционных потерь.

ОДНОМОДОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ

Критерием одномодовой генерации является условие:

$$\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{a} \frac{g_0 \left|\psi_{01}\right|^2 rdr}{1+\frac{1}{I_0} W_{00}\left(0\right)\left|\psi_{00}\right|^2} \le K_{loss}^{01}, \qquad (15)$$

где $W_{00}\left(0\right)$ – спектральная плотность мощности основной моды для центра линии. Это неравенство так же, как и (13), отражает факт превышения потерь моды TEM_{01} над насыщенным излучением основной моды коэффициентом усиления первой моды и, следовательно, невозможность ее генерации.

На рис. 3а представлены зависимости $g0(r)/g_0(0)$ для двух случаев радиальной зависимости ненасыщенного коэффициента усиления. Первый характерен для ионных лазеров, работающих при малых токах, а второй – при больших токах и давлениях. Наблюдаемый на радиальной зависимости $g_0(r)/g0(0)$ провал связан с ростом влияния девозбуждения верхнего лазерного уровня электронным ударом и с пленением резонансного излучения с нижних лазерных уровней.

На рис. 3б представлена диаграмма, полученная при обработке результатов расчета по описанной выше методике. По осям отложены параметры $X_{00} = g_0^{00} / K_{loss}^{00}$ и $X_{01} = g_0^{01} / K_{loss}^{01}$ – превышения усредненных коэффициентов усиления для мод TEM_{00}, TEM_{01} над коэффициентами потерь. Сплошные и штриховые линии соответствуют двум случаям радиального распределения коэффициента усиления. Точки, лежащие ниже кривых (1), соответствуют генерации моды TEM_{00}. Цифры на кривой 1 пропорциональны мощности. Так, для точки A (X_{00}=4, X_{01}=2), $N_{00} = W_{00} / \left(\pi \bar{w}^2 I_0\right) = 7{,}9$.

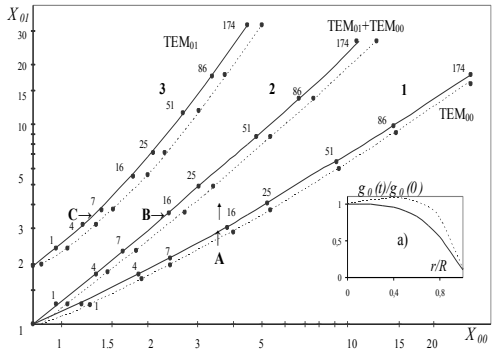


Рис 3. Поперечное распределение ненасыщенного коэффициента усиления (а) и диаграмма, описывающая двухмодовую генерацию (б)

Кривые 2 и 3 построены для случая изотропного резонатора и резонатора с анизотропными элементами, например окнами Брюстера. В области выше кривой 2 (3) генерирует только мода TEM_{01}. Мощность при этом определяется аналогично случаю моды TEM_{00}, так как для точки B (X_{00}=2, X_{01}=3,6) в изотропном резонаторе N_{01} = 7,9, а для точки С (X_{00}=1,2, X_{01}=3,6) в анизотропном резонаторе N_{01} = 3,1. Как и следовало ожидать, мощность TEM_{01}-моды в анизотропном резонаторе при одинаковых значениях X_{01} ниже, чем в изотропном, что связано с меньшим, чем в первом случае, объемом активной среды, с которым взаимодействует мода. В области между кривыми 1 и 2 (1 и 3) реализуется двухмодовая генерация.

Результаты, представленные на рис. 3, приведены для случая $a/\bar{w} = 2$. Фактически для $a/\bar{w} \ge$ 1,7 они не чувствительны к отношению $a/\bar{w}$, что и делает диаграмму универсальной. Режимы, соответствующие точкам B и C, реализуются в случае провала радиальной зависимости коэффициента усиления, а также вследствие выгорания части зеркала или загрязнения оптических элементов, когда X_{01} может превысить X_{00} и возможна устойчивая генерация моды TEM_{01}.

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ОТ РАЗЪЮСТИРОВКИ

Подход к расчету дифракционных потерь в резонаторе с капилляром, развитый выше, в силу его искусственного характера требует дальнейшего обоснования. Такое обоснование легче всего получить, сравнивая результаты его применения с экспериментальными данными, полученными при разъюстировке зеркал резонатора. При разъюстировке оптическая ось внутрирезонаторного излучения смещается относительно оси капилляра, что ведет к уходу оси диаграммы направленности излучения и к росту дифракционных потерь. Смещение оси пучка

в плоскости торцов капилляра в практически важных случаях поворота зеркал в одной плоскости на углы δ_1 и δ_2 описывается выражениями, следующими из геометрических соображений:

$$S_{1k} = \frac{L}{1-g_1g_2}\left\{\left[g_2 + \frac{L_1}{L}(1-g_2)\right]\delta_1 + \left[1 - \frac{L_1}{L}(1-g_1)\right]\delta_2\right\},$$
$$S_{2k} = \frac{L}{1-g_1g_2}\left\{\left[1 - \frac{L_2}{L}(1-g_2)\right]\delta_1 + \left[g_1 - \frac{L_2}{L}(1-g_1)\right]\delta_2\right\}. \quad (16)$$

Согласно [18] разъюстированный симметричный резонатор с диафрагмами на зеркалах эквивалентен некоторому съюстированному резонатору с ассиметрично расположенными диафрагмами. Такой резонатор при $S_{1k} = S_{2k} = S$ описывается двумя числами Френеля $N^{\pm} = N(1 \pm S/a)^2$, а потери определяются по формуле:

$$\Lambda = 0{,}5\left[\Lambda\left(N^+\right) + \Lambda\left(N^-\right)\right].$$

В нашем случае при $S_{1k} \neq S_{2k}$ будем описывать разъюстированный резонатор четырьмя числами Френеля $N^{\pm}_{1,2} = N_э(1 \pm S_{1,2k} / a)^2$, а потери по аналогии с симметричным резонатором определять по формуле:

$$\Lambda(\delta_1, \delta_2) = 0{,}25\left[\Lambda\left(N_1^+\right) + \Lambda\left(N_1^-\right) + \Lambda\left(N_2^+\right) + \Lambda\left(N_2^-\right)\right]. \quad (17)$$

Коэффициент потерь в разъюстированном резонаторе связан с дифракционными потерями на проход соотношением:

$$K_{loss} = K_0 + K_1(\delta_1, \delta_2) = K_0 + \frac{1}{L_a} ln \frac{1}{1 - \Lambda(\delta_1, \delta_2)}. \quad (18)$$

Здесь K_1 определяет дифракционные потери; K_0 характеризует все остальные виды потерь, включая полезные.

На рис. 4 представлены рассчитанные зависимости потерь $\Lambda(\delta,0)$, $\Lambda(0, \delta)$ и относительных выходных мощностей в сравнении с экспериментальными данными, полученными при генерации моды TEM_{01} лазера на длине волны λ = 488 нм [18]. Параметры лазера, использованные при расчете: L= 660 мм, L_1=L_2= 230 мм, диаметр разрядного капилляра $2a$ = 3 мм, зеркала – R_1=∞, R_2= 2 м, коэффициенты отражения зеркал ρ_1= 0,95, ρ_2 ≅1, характер уширения линии – квазиоднородный. В съюстированном лазере генерирует мода TEM_{01} вследствие провала коэффициента усиления в центральной части активной среды. При разъюстировке начинает генерировать мода TEM_{00}, обладающая меньшими дифракционными потерями.

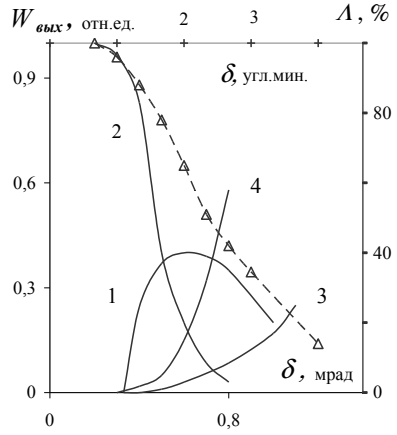


Рис. 4. Рассчитанные зависимости выходной мощности для мод TEM_{00} (1) и TEM_{01} (2) и дифракционных потерь (3, 4) от угла поворота выходного зеркала для ArII-лазера в сравнении с экспериментальными данными (Δ)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в работе подход позволяет рассчитывать дифракционные потери основной и высших поперечных мод в сложных многоэлементных резонаторах, распределение поперечных мод по мощности и границу одномодовой генерации, определять такие характеристики выходного пучка, как его диаметр и расходимость при заданной конфигурации резонатора, зависимость выходной мощности от разъюстировки зеркал резонатора. Описанный метод можно эффективно использовать при создании лазеров.

* 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. Авербах В. С., Власов С. Н., Таланов В. И. Открытые резонаторы с произвольно расположенной диафрагмой // ЖТФ. 1966. Т. 34. № 3. С. 497–507.
2. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
3. Громов А. Н., Трашкеев С. И. Простые формулы для расчета потерь в симметричных устойчивых резонаторах из круглых зеркал // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 2. № 3. С. 618.
4. Доронин В. Г., Новиков В. И., Пипченко В. П., Степанов В. А. // Влияние неоднородности активной среды и диафрагмы на параметры выходного пучка одномодового CO2-лазера // Квантовая электроника. 1982. Т. 9. № 5. С. 876–883.
5. Доронин В. Г., Пипченко В. П. Внеосевые гауссовы пучки для описания излучения лазеров с разъюстированными активными резонаторами // ЖПС. 1981. Т. 35. № 1. С. 9–16.
6. Ищенко Е. Ф. Открытые оптические резонаторы. М.: Сов. радио, 1980. 207 с.
7. Коржавин В. А., Орешак О. Н., Самородов В. Г., Широбакин С. Е. Влияние разъюстировки на выходную мощность ионного аргонового лазера // Электронная техника. 1985. Сер. 11. № 1. С. 54–59.
8. Кубарев В. В. Принцип Бабине и дифракционные потери в лазерных резонаторах // Квантовая электроника. 2000. Т. 30. № 9. С. 824–826.

9. Кубарев В. В. Расчет, оптимизация и измерение параметров оптического резонатора Новосибирского терагерцового лазера на свободных электронах // Квантовая электроника. 2009. Т. 39. № 3. С. 235–240.
10. Мольков С. И. Дифракционные потери и распределение мощности газоразрядных лазеров по поперечным модам // Сборник докладов 19-й междунар. конф. «Лазеры. Измерения. Информация». СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2009. Т. 1. С. 22–35.
11. Мольков С. И., Степанов В. А. Расчет выходных характеристик ионных лазеров на инертных газах // Вестник Рязанского педагогического университета. 1994. № 1. С. 57–67.
12. Boyd G. D., Gordon J. P. Confocal Multimode Resonator for Millimeter Through Optical Wavelength Masers // Bell Syst. Tech. J. 1961. Vol. 40. P. 489–508.
13. Casperson L W., Lunnam S. D. Gaussian Modes in High Loss Laser Resonators // Appl. Optics. 1975. Vol. 14. № 5. P. 1193–1199.
14. Kogelnik H. W., Li T. Laser Beams and Resonators // Appl. Opt. 1966. Vol. 5. P. 1550–1567.
15. Kogelnik H. W. Imaging of Optical Modes Resonators with Internal Laser // Bell. Syst. Tech. J. 1965. Vol. 44. № 3. P. 455–494.
16. Li T. Diffraction Loss and Selection of Modes in Maser Resonators with Circular Mirrors // Bell. Syst. Tech. J. 1965. Vol. 44. № 5. P. 917–932.
17. Rigrod W. W. Diffraction Loss of Stable Optical Resonator s with Internal Limiting Apertures // IEEE J. Quant. Electron. 1983. Vol. 19. № 11. P. 1679–1685.
18. Sanderson R., Streifer W. Laser Resonators with Tilted Reflectors // Appl. Opt. 1969. Vol. 8. № 11. P. 2241–2250.

Mol'kov S. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

DIFFRACTION LOSSES AND POWER DISTRIBUTION IN A GAS-DISCHARGE LASER OVER TRANSVERSE MODES

The results of numerical and analytical researches of diffraction losses in the compound open resonators are being presented. Known numerical data is used; interpolation formulas for the diffraction losses, received with application of laws of similarity of resonators, are presented. Thus, it was possible to significantly expand the area of applicability of results on multi-element resonators containing Gaussian and non-Gaussian elements (aperture with sharp edges, discharge capillary) The method allows to determine the configuration of resonators providing generation of the fundamental transverse mode, power distribution by transverse modes at multimode generation and dependence of power on a misalignment of mirrors of the resonator.

Key words: open optical resonator, Gaussian and non-Gaussian elements, diffraction losses, misalignment

REFERENCIS

1. Averbakh V. S., Vlasov S. N., Talanov V. I. Open Resonators with Randomly Located Diaphragm [Otkrytye rezonatory s proizvol'no raspolozhennoy diafragmoy]. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Journal of Technical Physics]. 1966. Vol. 34. № 3. P. 497–507.
2. Born M., Wol'f E. *Osnovy optiki* [Fundamentals of Optics]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 720 p.
3. Gromov A. N., Trashkeev S. I. Simple Formulas for Calculation of Losses in Symmetric Stable Resonators from Round Mirrors [Prostye formuly dlya rascheta poter' v simmetrichnykh ustoychivykh rezonatorakh iz kruglykh zerkal]. *Optika i spektroskopiya* [Optics and Spectroscopy]. 1987. Vol. 2. №. 3. P. 618.
4. Doronin V. G., Novikov V. I., Pipchenko V. P., Stepanov V. A. Influence of the Active Medium Inhomogeneity and Diaphragms on Parameters of the CO2-Laser's Output Beam [Vliyanie neodnorodnosti aktivnoy sredy i diafragmy na parametry vykhodnogo puchka odnomodovogo CO2-lazera]. *Kvantovaya elektronika* [Quant. Electron]. 1982. Vol. 9. №. 5. P. 876–883.
5. Doronin V. G., Pipchenko V. P. Off-axis Gaussian Beams for Describing the Radiation of Lasers with a Misaligned Active Resonator [Vneosevye gaussovy puchki dlya opisaniya izlucheniya lazerov s raz''yustirovannymi aktivnymi rezonatorami]. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii* [Journal of Applied Spectroscopy]. 1981. Vol. 35. № 1. P. 9–16.
6. Ishchenko E. F. *Otkrytye opticheskie rezonatory* [Open Optical Resonators]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1980.
7. Korzhavin V. A., Oreshak O. N., Samorodov V. G., Shirobakin S. E. Influence of Misalignment on Power Output of the Ionic Argon Laser [Vliyanie raz''yustirovki na vykhodnuyu moshchnost' ionnogo argonovogo lazera]. *Elektronnaya tekhnika* [Electronic Technic]. 1985. Ser. 11. № 1. P. 54–59.
8. Kubarev V. V. Babinet Principle and Diffraction Losses in Laser Resonators [Printsip Babine i difraktsionnye poteri v lazernykh rezonatorakh]. *Kvantovaya elektronika* [Quant. Electron]. 2000. Vol. 30. № 9. P. 824–826.
9. Kubarev V. V. Calculation, Optimisation, and Measurements of Optical Resonator Parameters of the Novosibirsk Terahertz Free-electron Laser [Raschet, optimizatsiya i izmerenie parametrov opticheskogo rezonatora Novosibirskogo teragertsovogo lazera na svobodnykh elektronakh]. *Kvantovaya elektronika* [Quant. Electron]. 2009. Vol. 39. № 3. P. 235–240.
10. Mol'kov S. I. Diffraction Losses and Distribution of Power of Gas-discharge Lasers on Transverse Modes [Difraktsionnye poteri i raspredelenie moshchnosti gazorazryadnykh lazerov po poperechnym modam]. *Sbornik dokladov 19-y mezhdunarodnoy konferentsii "Lazery. Izmereniya. Informatsiya"* [Proceedings of the 19 – th International Conference "Lasers. Measurements. Information"]. St. Petersburg, Publishing SPPU, 2009. Vol. 1. P. 22–35.
11. Mol'kov S. I., Stepanov V. A. Calculation of Output Characteristics of the Ionic Lasers on Inert Gases [Raschet vy khodnykh kharakteristik ionnykh lazerov na inertnykh gazakh]. *Vestnik Ryazanskogo pedagogicheskogo universiteta* [Vestnic of the Ryazan Pedagogical University]. 1994. № 1. P. 57–67.
12. Boyd G. D., Gordon J. P. Confocal Multimode Resonator for Millimeter Through Optical Wavelength Masers // Bell Syst. Tech. J. 1961. Vol. 40. P. 489–508.
13. Casperson L W., Lunnam S. D. Gaussian Modes in High Loss Laser Resonators // Appl. Optics. 1975. Vol. 14. № 5. P. 1193–1199.
14. Kogelnik H. W., Li T. Laser Beams and Resonators // Appl. Opt. 1966. Vol. 5. P. 1550–1567.
15. Kogelnik H. W. Imaging of Optical Modes Resonators with Internal Laser // Bell. Syst. Tech. J. 1965. Vol. 44. № 3. P. 455–494.
16. Li T. Diffraction Loss and Selection of Modes in Maser Resonators with Circular Mirrors // Bell. Syst. Tech. J. 1965. Vol. 44. № 5. P. 917–932.
17. Rigrod W. W. Diffraction Loss of Stable Optical Resonator s with Internal Limiting Apertures // IEEE J. Quant. Electron. 1983. Vol. 19. № 11. P. 1679–1685.
18. Sanderson R., Streifer W. Laser Resonators with Tilted Reflectors // Appl. Opt. 1969. Vol. 8. № 11. P. 2241–2250.

Поступила в редакцию 03.06.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 004.738.5

ОЛЬГА ЮРЬЕВНА ДЕРБЕНЕВА
начальник управления по инновационно-производственной деятельности, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
oder@petrsu.ru

АЛЕКСЕЙ ГЕОРГИЕВИЧ МАРАХТАНОВ
заместитель директора Регионального центра новых информационных технологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
alikrpk@gmail.com

ОЛЬГА ЮРЬЕВНА НАСАДКИНА
кандидат технических наук, директор Регионального центра новых информационных технологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
onasad@petrsu.ru

АНДРЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ ПЕЧНИКОВ
доктор технических наук, доцент, и. о. заведующего лабораторией телекоммуникационных систем, Институт прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
pechnikov@krc.karelia.ru

К ВОПРОСУ О МОДУЛЯРНОСТИ ВЕБ-ПРОСТРАНСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ*

Исследование модулярности веб-пространства высшего учебного заведения на примере Петрозаводского государственного университета (ПетрГУ) позволяет получить результаты, описывающие укрупненную структуру веб-пространства вуза, и обнаружить самоорганизацию веб-пространства, происходящую без внешнего (административного) регулирования, что позволяет предложить рекомендации, направленные на улучшение связности веб-пространства, в том числе и с использованием административного воздействия.

Ключевые слова: веб-пространство, веб-сайт, гиперссылка, связность сайтов, веб-граф, модулярность

ВВЕДЕНИЕ

Веб-ресурсы крупных организаций, предприятий и учреждений относятся к регламентируемым веб-ресурсам [5]. Это означает, что существует (или должен существовать) официальный документ, в котором изложены цели и задачи веб-ресурса, основные структурные составляющие, правила изменения информации и т. д.

Под веб-сайтом понимается веб-ресурс (множество взаимосвязанных html-страниц и документов), идентифицируемый в Вебе посредством уникального доменного имени.

Веб-пространство организации (предприятия, учреждения) – это множество веб-сайтов организации, связанных посредством гиперссылок. Как правило, в таком множестве выделяется так называемый головной сайт (официальный сайт организации), сайты подразделений, проектов, различных мероприятий, форумы, вики-ресурсы.

Уточним используемое в статье понятие «гиперссылка». На различных страницах одного сайта могут встречаться гиперссылки на один и тот же внешний адрес, имеющие одинаковый контекст (в частном случае – анкор), и количество таких «одинаковых» гиперссылок может быть равно количеству страниц на сайте (например, ссылка на сайт вышестоящей организации). Из такого множества гиперссылок с одинаковым адресом-приемником и контекстом, сделанных с данного сайта, в нашем исследовании мы рассматриваем только одну – ту, которая находится на странице, имеющей максимальный уровень (наивысшим считается уровень начальной страницы сайта). Такая гиперссылка называется «уникальной внешней гиперссылкой» [5], и, поскольку далее рассматриваются только такие ссылки, мы будем называть их гиперссылками (или просто ссылками).

Математической моделью, успешно используемой для анализа веб-пространства организации, является веб-граф, построенный следующим образом: множество вершин соответствуют сайтам организации, а множество дуг – гиперссылкам, связывающим эти сайты. Понятно, что такой веб-граф является ориентированным графом без петель, имеющим кратные дуги.

Для исследования структуры веб-пространства используются как традиционные теоретико-гра-

© Дербенева О. Ю., Марахтанов А. Г., Насадкина О. Ю., Печников А. А., 2014

фовые подходы, основанные на обнаружении компонент связности, кратчайших путей [5], так и подходы, развитые в последнее десятилетие применительно к Вебу. К ним относятся работы по изучению самоорганизации веб-сообществ [10] и исследования модулярности графа [13].

Неформально под веб-сообществом понимается некоторое подмножество вершин веб-графа, для которого количество дуг, связывающих вершины-участники веб-сообщества, больше, чем количество дуг, связывающих их с другими вершинами.

Модулярность, в свою очередь, это свойство графа и некоторого разбиения его на подграфы. Мера модулярности показывает, насколько данное разбиение качественно в том смысле, что существует много ребер, лежащих внутри подграфов, и мало ребер, лежащих вне подграфов (соединяющих подграфы между собой).

В данном случае речь идет о ребрах, а не о дугах, поскольку ориентированный граф достаточно тривиально преобразуется в неориентированный. На практике значения модулярности, лежащие в пределах от 0,3 до 0,7, говорят о том, что граф имеет структуру с различимыми подграфами с заданными свойствами. Для обозначения подграфов, на которые разбивается граф, в русскоязычной литературе используются различные термины, такие как «кластеры», «неявные сообщества», «модули»; далее мы будем использовать термин «модуль». Можно считать, что неориентированный граф с высоким значением меры модулярности является хорошим объектом для последующего выявления сообществ в его ориентированном прообразе.

Целью данной работы является исследование модулярности веб-пространства высшего учебного заведения (на примере ПетрГУ). Результаты, полученные в рамках исследования, позволяют описать структуру веб-пространства вуза, обнаружить (или, наоборот, не обнаружить) самоорганизацию веб-пространства, происходящую без внешнего (административного) регулирования, и предложить рекомендации, направленные на улучшение связности веб-пространства с использованием административного воздействия.

Полученные результаты и сделанные выводы, демонстрируемые на примере ПетрГУ, могут служить руководством к действию и легко переносимы на другие вузы, организации, предприятия и учреждения.

ВЕБ-ГРАФ ПЕТРГУ

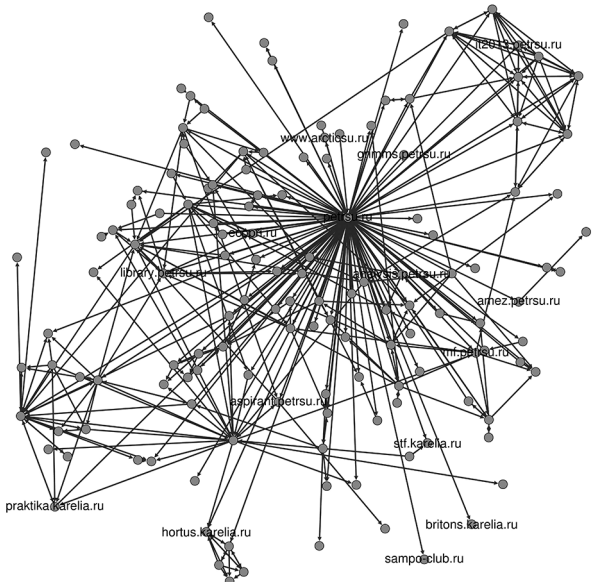
Общее количество сайтов, составляющих веб-пространство ПетрГУ, в данном исследовании равно 147. Следуя работе [6], их можно разбить на 13 групп. Перечислим эти группы (в скобках в качестве примера указано по одному характерному представителю данной группы для ПетрГУ):

1. Официальный сайт университета (официальный сайт ПетрГУ – petrsu.ru);
2. Сайты факультетов (математический факультет – mf.petrsu.ru);
3. Сайты кафедр (кафедра математического анализа ПетрГУ – analysis.petrsu.ru);
4. Сайты научной библиотеки, ботанического сада, институтов, центров (Научная библиотека – library.petrsu.ru);
5. Сайты филиалов университета, университетских лицеев и т. д. (Кольский филиал ПетрГУ– www.arcticsu.ru);
6. Сайты издательства, научных журналов, медиа-ресурсов (журнал «Принципы экологии» – ecopri.ru);
7. Сайты структурных подразделений университета, не вошедшие в группы 2–6 (Региональный центр новых информационных технологий – rcnit.petrsu.ru);
8. Сайты научных конференций, организуемых университетом (конференция «Космос братьев Гримм» – grimms.petrsu.ru);
9. Сайты программ и проектов, выполняемых сотрудниками университета («Британцы в Карелии» – britons.karelia.ru);
10. Сайты учебных ресурсов, разработанные сотрудниками университета («Виртуальная педпрактика» – praktika.karelia.ru);
11. Сайты информационно-справочных систем и ресурсов университета («Аспирантура ПетрГУ» – aspirant.petrsu.ru);
12. Персональные сайты сотрудников университета (сайт Андрея Мезенцева – amez.petrsu.ru);
13. Другие сайты: сайты творческих организаций, профкома и сайты, не вошедшие в группы 1–12 (Туристический клуб ПетрГУ «Сампо» – sampo-club.ru).

Сканирование сайтов веб-пространства ПетрГУ с целью сбора исходящих гиперссылок производилось программой BeeCrawler [14]. Для хранения, обработки и анализа гиперссылок использовалась специализированная база данных внешних гиперссылок [3]. На 147 сайтах веб-пространства ПетрГУ было отсканировано около 100 000 страниц и сформировано множество, содержащее 11 200 исходящих с этих сайтов гиперссылок.

Далее из 11 200 гиперссылок были отобраны 1352 гиперссылки, которые связывают сайты веб-пространства ПетрГУ, и построен веб-граф $G=G(V,E)$; здесь V (vertex) – множество вершин, соответствующих сайтам веб-пространства, E (edge) – множество дуг, соответствующих гиперссылкам, связывающим эти сайты, $|V|=147$, $|E|=1352$. Поскольку ряд сайтов связан гиперссылками в количестве большем, чем 1, то мы имеем $G(V,E)$ как ориентированный граф с кратными дугами без петель.

На рисунке приводится несколько упрощенное изображение веб-графа $G(V,E)$: во избежание загромождения рисунка кратные дуги не нарисованы, приведены названия только некоторых вершин и исключены 10 изолированных вершин. Головной сайт petrsu.ru представлен вершиной с наибольшей инцидентностью, расположенной почти в самом центре рисунка. Десять изолированных вершин соответствуют сайтам, которые не связаны гиперссылками с другими сайтами ПетрГУ. Отметим также, что 40 вершин являются «висячими», то есть имеют либо только исходящие, либо только входящие дуги, поскольку 26 сайтов не имеют входящих ссылок, а 14 – исходящих, связывающих их с другими сайтами ПетрГУ.



Веб-граф веб-пространства ПетрГУ

Относительно почти 36 % сайтов веб-пространства ПетрГУ сразу же можно сделать вывод о том, что они не являются участниками тематических сообществ [7], для которых наличие исходящих и входящих гиперссылок для каждого сайта в рамках сообщества является обязательным условием. Вместе с тем даже беглый взгляд на рисунок позволяет обнаружить, по крайней мере, две группы сайтов, имеющих очень высокую плотность связывающих их дуг.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯРНОСТИ ВЕБ-ГРАФА ПЕТРГУ

Дадим достаточно строгое и вместе с тем не громоздкое определение функции модулярности, следуя [2], для чего введем следующие обозначения:

A – матрица инцидентности графа $G(V,E)$ [4],
A_{ij} – количество дуг из вершины i в вершину j,
m – количество дуг в графе, $m=|E|$,
$Pr()$ – вероятность некоторого события,
S – некоторое множество модулей, на которые разбит граф $G(V,E)$, s – обозначение одного из модулей $s \in S$. Тогда

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{s \in S} \sum_{i,j \in s} \left[A_{ij} - Pr(A_{ij} = 1) \right].$$

На первом этапе исследования рассматривается граф $G^1(V,E^1)$, который отличается от $G(V,E)$ тем, что в нем отсутствуют кратные ребра; тогда в нашем случае $|E^1|=419$.

Для анализа веб-графов была использована открытая программная платформа Gephi [11]. В Gephi для построения модульной структуры графа используется эвристический алгоритм, предложенный в [9]. Количество модулей $K=\|S\|$, на которые разбивается граф, автоматически определяется алгоритмом из соображений максимального значения функции модулярности Q.

В случае графа $G^1(V,E^1)$ максимальное значение Q=0,486 получено для K=9.

Для пяти из девяти модулей достаточно четко отслеживается тематика сайтов.

В одном случае это 5 сайтов, посвященных теме ботанических садов (электронный журнал, ботанический сад ПетрГУ, ИПС «Ботанические коллекции» и др.). В другом случае тоже 5 сайтов, но уже филологической тематики (словарь-конкорданс публицистики Ф. М. Достоевского, проект «Digital Humanities», проект «Филолог. ру» и др.).

Еще один модуль из 9 вершин соответствует сайтам конференций по информационно-коммуникационным технологиям (серия из сайтов 8 конференций, посвященных информационной среде вуза, и сайт Всероссийской ассоциации вузов – пользователей Oracle).

Модуль из 5 вершин содержит вершины, сайты которых аффилированы с кафедрой информационно-измерительных систем и физической электроники ПетрГУ (собственно сайт кафедры, сайт научно-образовательного центра по фундаментальным проблемам приложений физики низкотемпературной плазмы и ряд других сайтов).

И, наконец, достаточно крупный модуль, содержащий 18 вершин, также можно объединить в рамках единой темы: это сайты проектов, электронных журналов и сайты разработчиков этих сайтов.

Для остальных модулей говорить о единой тематике не представляется возможным.

На втором этапе был исследован веб-граф с кратными дугами $G(V,E)$. Здесь максимальное значение Q=0,537 получено для K=11. В этом случае появляется возможность тематически идентифицировать 9 модулей. Пять из них практически совпадают с тематическими модулями, выявленными на первом этапе. В то же время обнаруживается, например, крупный модуль из 14 вершин, соответствующих сайтам Карель-

ской государственной педагогической академии (КГПА), вошедшей в состав ПетрГУ в 2013 году.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Развитие веб-пространства для университета является одной из приоритетных задач. Именно состояние этого пространства в значительной степени характеризует вуз в сети Интернет, влияет на позиции сайтов вуза в поисковых системах и рейтингах, что, безусловно, является фактором, влияющим на конкурентоспособность вуза в целом.

Результаты приведенных в работе исследований имеют большую практическую ценность, поскольку служат основой для принятия различных решений по развитию веб-пространства университета, в том числе технических и управленческих.

Построенный граф наглядно показывает, что, несмотря на наличие значительного числа информационных ресурсов, развиваемых и поддерживаемых в вузе, далеко не все из них имеют гипертекстовые связи с другими сайтами веб-пространства университета, в том числе с сайтами схожих тематик. Учитывая, что такие параметры, как число внешних и внутренних гиперссылок, учитываются и поисковыми системами при ранжировании в результатах поиска [1], и системами рейтингования вузов (такими, как Webometrics [12]), очевидно, что повышение уровня связности ресурсов, составляющих веб-пространство организации, может привести к росту позиций сайтов вуза в результатах поиска и рейтингах. В то же время стоит отметить, что алгоритмы поисковых систем учитывают не только наличие ссылки, но и тематическую близость ресурсов, связанных гиперссылкой, повышение уровня связности должно осуществляться не хаотично или случайным образом, а в рамках выделенных тематических модулей или кластеров.

Стоит отметить, что наличие ссылок – важный, но не единственный параметр, влияющий на позиции сайтов веб-пространства. Современные поисковые системы учитывают более 800 факторов, а также в ряде случаев понижают степень влияния ссылок на общий результат [8]. Больший вес приобретают другие параметры, такие как поведенческие факторы, уникальность текстовой информации и пр., которые также нужно учитывать при создании и развитии университетских интернет-ресурсов.

С организационной точки зрения развитию веб-пространства вуза будет способствовать принятие регламентов и рекомендаций, определяющих принципы функционирования и развития сайтов, составляющих веб-пространство университета, например разработка правил размещения гиперссылок на ресурсах. Данные решения должны быть подкреплены выводами, сделанными на базе приведенного в настоящей статье исследования. Кроме того, имеет смысл для ряда ресурсов, выделенных в рамках данного исследования (например, для ресурсов, не имеющих связей с основным сайтом), внести точечные правки в содержимое с целью повышения уровней связности в тематических сегментах (например, с целью интеграции тематических ресурсов КГПА в веб-пространство ПетрГУ).

Важно, чтобы обозначенная работа не проводилась формально, ради простого увеличения числовых показателей, а приводила к действительному улучшению качества ресурсов, составляющих пространство, повышению удобства пользователей, работающих с веб-сайтами вуза, улучшению полноты и достоверности представленной на сайтах информации.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашманов И., Иванов А. Оптимизация и продвижение сайтов в поисковых системах. СПб.: Питер, 2013. 465 с.
2. Бузун Н., Коршунов А. Выявление пересекающихся сообществ в социальных сетях // Доклады всероссийской научно-практической конференции «Анализ Изображений, Сетей и Текстов» (Екатеринбург, 16–18 марта 2012 г.). М.: Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2012. С. 87–96.
3. Головин А. С., Печников А. А. База данных внешних гиперссылок для исследования фрагментов Веба // Информационная среда вуза XXI века: Материалы VII Всероссийской научно-практ. конф. (23–27 сентября 2013 г.). Петрозаводск, 2013. С. 55–57.
4. Зыков А. А. Основы теории графов. М.: Наука, 1987. 383 с.
5. Печников А. А. Модель университетского Веба // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2010. № 6. С. 208–214.
6. Печников А. А., Дербенева О. Ю. Анализ гиперссылок веб-пространства Петрозаводского государственного университета // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2013. № 2 (131). С. 100–106.
7. Печников А. А. Методы исследования регламентируемых тематических фрагментов Web // Труды Института системного анализа Российской академии наук. Сер. «Прикладные проблемы управления макросистемами». 2010. Т. 59. С. 134–145.
8. Ссылочные факторы в формуле ранжирования Яндекса: 3 месяца спустя после «отключения» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.computerra.ru/100955/ssyilochnyie-faktoryi-v-formule-ranzhirovaniya-yandeksa-3-mesyatsa-spustya-posle-otklyucheniya
9. Blondel V. D., Guillaume J.-L., Lambiotte R. E. Lefebvre Fast unfolding of communities in large networks // Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 1742-5468, P10008, 2008. DOI: 10.1088/1742-5468/2008/10/P10008.

10. Flake G. W., Lawrence S. R., Giles C. L., Coetzee F. M. Self-Organization and Identification of Web Communities // IEEE Computer. 2002. 35(3). P. 66–71.
11. Gephi – The Open Graph Viz Platform. URL: https://gephi.org
12. Methodology. Ranking Web of Universities. URL: http://www.webometrics.info/en/Methodology
13. Newman M. E. J., Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks // Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics. Vol. 69. № 2. Article ID 026113. 2004.
14. Pechnikov A. A., Chernobrovkin D. I. Adaptive Crawler for External Hyperlinks Search and Acquisition // Automation and Remote Control. 2014. Vol. 75. № 3. P. 587–593.

Derbeneva O. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Marakhtanov A. G., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Nasadkina O. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Pechnikov A. A., Institute of Applied Mathematical Research, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

REVISITING THE WEB SPACE MODULARITY OF AN EDUCATIONAL INSTITUTION

The study of the web space modularity of a higher educational institution based on the example of the Petrozavodsk State University yields results that describe the extended structure of the institution's web space, and allows the self-structured (not regulated by an outside authority) pattern of web space to be discovered. This, in turn, enables recommendations on how to improve the connectedness of the web space using, among other methods, an external administrative authority.

Key words: web space, web site, hyperlink, connectivity of sites, web graph, modularity

REFERENCES

1. Ashmanov I., Ivanov I. *Optimizatsiya i prodvizhenie saytov v poiskovykh sistemakh* [Optimization and promotion of sites in search engines]. St. Petersburg, Piter Publ., 2013. 465 p.
2. Buzun N., Korshunov A. Identifying overlapping communities in social networks [Vyyavlenie peresekayuscchikhsya soobscchestv v sotsial'nykh setyakh]. *Doklady vserossiyskoy naychno-prakticheskoy konferentsii "Analiz izobrazheniy, Setey i Tekstov"* [Repotrs of Conference "Analysis of Images, Social Networks, and Texts", April, 10–12th, Yekaterinburg]. Moscow, 2012. P. 87–96.
3. Golovin A. S., Pechnikov A. A. Database of external hyperlinks for Web fragments investigation [Baza dannykh vneshnikh giperssylok dlya issledovaniya fragmentov Weba]. *Informatsionnaya sreda vuza XXI veka: Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (23–27 sentyabrya 2013 g.)* [University Infomedia XXI Century: Proceedings of VII All-Russian Scientific and Practical Conference (September 23–27, 2013)]. Petrozavodsk, 2013 P. 55–57.
4. Zykov A. A. *Osnovy teorii grafov* [Basics of the graph theory]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 383 p.
5. Pechnikov A. A. Model of a university Web [Model' universitetskogo Weba]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo* [Vestnik of the Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod]. 2010. № 6. P. 208–214.
6. Pechnikov A. A., Derbeneva O. Yu. Hyperlinks analysis of the web space of the Petrozavodsk State University [Analiz giperssylok web-prostranstva Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2013. № 2 (131). P. 100–106.
7. Pechnikov A. A. Methods of investigation of regulated thematic fragments Web [Metody issledovaniya reglamentiruemykh tematicheskikh fragmentov Web]. *Trudy Instituta systemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk. Ser. "Prikladnye problemy upravleniya makrosistemami"* [Proceedings of the Institute of Systems Analysis Russian Academy of Sciences. Series: Applied problems of control macro systems]. 2010. Vol. 59. P. 134–145.
8. *Ssylochnye faktory v formule ranzhirovaniya Yandeksa: 3 mesyatsa spustya posle "otklyucheniya"* [Reference factors in ranking formula Yandex: 3 months after the "off"]. URL: http://www.computerra.ru/100955/ssyilochnyie-faktoryi-v-formule-ranzhirovaniya-yandeksa-3-mesyatsa-spustya-posle-otklyucheniya
9. Blondel V. D., Guillaume J.-L., Lambiotte R. E. Lefebvre Fast unfolding of communities in large networks // Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 1742–5468, P10008, 2008. DOI: 10.1088/1742-5468/2008/10/P10008.
10. Flake G. W., Lawrence S. R., Giles C. L., Coetzee F. M. Self-Organization and Identification of Web Communities // IEEE Computer. 2002. 35(3). P. 66–71.
11. Gephi – The Open Graph Viz Platform. URL: https://gephi.org
12. Methodology. Ranking Web of Universities. URL: http://www.webometrics.info/en/Methodology
13. Newman M. E. J., Girvan M. Finding and evaluating community structure in networks // Physical Review E: Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics. Vol. 69. № 2. Article ID 026113. 2004.
14. Pechnikov A. A., Chernobrovkin D. I. Adaptive Crawler for External Hyperlinks Search and Acquisition // Automation and Remote Control. 2014. Vol. 75. № 3. P. 587–593.

Поступила в редакцию 02.09.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК (52-423)

АНАТОЛИЙ ЛАВРЕНТЬЕВИЧ КОШКАРОВ
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
koshkarov@petrsu.ru

ON A GENERAL RELATIVITY EXTENSION*

В статье «О расширении общей теории относительности» показано, что анализ свойств дуальности тензора кривизны Римана указывает на возможность расширения эйнштейновской общей теории относительности к теории типа неабелевой янг-миллсовской. Уравнения движения новой теории есть уравнения Янга-Миллса для тензора кривизны. Эйнштейновские уравнения (с космологическим членом, появляющимся как константа интегрирования) содержатся в предлагаемой теории. Новое в сравнении с прежней теорией состоит в том, что гравитационные поля не определяются исключительно тензором энергии-импульса материи, а обладают своей собственной неэйнштейновской динамикой (вакуумные флуктуации, самодействие), что вообще типично для неабелевых калибровочных полей.

Ключевые слова: неабелева дуальность, инстантон, неэйнштейновская гравитация, космологический член

INTRODUCTION

There is no doubt that Einstein's General Relativity [2] is a nonabelian gauge theory although it is not quite the same as the conventional Yang-Mills theory [10]. Though this theme is a subject of much controversy since R. Utiyama [9] and T. Kibble [4] proposed the very first gauge models of Gravitation.

Nevertheless, there are rather many arguments in favor of the theory is nonabelian. But how does the fact that gravitation is nonabelian agree with the widely spread and prevailing view the gravity source is energy-momentum and only energy-momentum? And how about nonabelian self-interaction? Of course, here we touch very tender spots about exclusivity of gravity as physical field, the energy problem, etc. Still the spherically-symmetric field out of Schwarzschild's [8] sphere looks quite like Coulomb's solution in Electrodynamics, the abelian theory without self-interaction. All the facts point out the General Relativity is not quite conventional nonabelian theory. In addition, Einstein's equations are not like Yang-Mills'.

It is shown in this paper that the theory can be formulated *ad exemplum* as an ordinary Yang-Mills' theory with more or less standard description in the form of the Yang-Mills equation, with self-interactions and instantons. For all that, Einstein's equations are contained in the theory rather than cancelled and do not dwindle. And their existence as themselves seems to relate to the peculiarities of gravity.

For our purposes, the essential fact is that internal (group) indices and space-time one are interchangeable, i. e. group acts in the Minkowski space-time which as a result becomes curved. In fact the internal space coincides with space-time. Therefore, it is convenient to hold the viewpoint that the first two indices α, β of the curvature tensor $R_{\alpha\beta\mu\nu}$ are internal, and the second pair μ,ν are the spacetime indices. And vice versa that's right as well. This is the peculiar features of the gravity as a gauge theory. For this reason the gravity duality properties are even more nontrivial and interesting than those in the ordinary Yang-Mills theory.

THE DUALITY PROPERTIES OF THE RIEMANN TENSOR

The duality properties which we are interested in have been established in the article [5] which however includes some mistakes. About notations. The metric with signature $(+,-,-,-)$ in $D=4$ pseudo-riemannian manifold is given to be metric-compatible to a (Riemannian) connection in the regular way.

Let us introduce the operations: 1) the left dual conjugation ($^*R_{\alpha\beta\mu\nu}$), 2) the right dual conjugation ($R^*_{\alpha\beta\mu\nu}$), and 3) twice dual conjugation ($^*R^*_{\alpha\beta}{}^{\mu\nu}$)

$$^*R_{\alpha\beta\mu\nu}=\frac{1}{2}E_{\alpha\beta\rho\sigma}R^{\rho\sigma}{}_{\mu\nu}, R^*_{\alpha\beta\mu\nu}=$$

$$=\frac{1}{2}R_{\alpha\beta}{}^{\rho\sigma}E_{\rho\sigma\mu\nu}, ^*R^*_{\alpha\beta}{}^{\mu\nu}=\frac{1}{2}E_{\alpha\beta\rho\sigma}R^{\rho\sigma}{}_{\gamma\delta}E^{\gamma\delta\mu\nu},$$

where $E_{\alpha\beta\mu\nu}=\sqrt{-g}\varepsilon_{\alpha\beta\mu\nu}$ – the Levi-Civita tensor, g – the metric tensor determinant.

For example

$$^{**}R_{\alpha\beta\mu\nu}=R^{**}_{\alpha\beta\mu\nu}=-R_{\alpha\beta\mu\nu}.$$

It is usual properties of double dual conjugates in the (+,–,–,–) riemannian space.

In terms of the dual conjugates the cyclicity identity

$$R_{\alpha\beta\mu\nu}+R_{\alpha\nu\beta\mu}+R_{\alpha\mu\nu\beta}=0$$

is of the form

© Кошкаров А. Л., 2014

$$*R_{\alpha\mu} \equiv *R_{\alpha\ \mu\nu}^{\ \nu} = 0 and / or R^*_{\alpha\mu} \equiv R^*_{\alpha\ \mu\nu}^{\ \nu} = 0.$$

Bianchi's identity

$$R_{\mu\nu\rho\sigma;\delta} + R_{\mu\nu\delta\rho;\sigma} + R_{\mu\nu\sigma\delta;\rho} = 0$$

transforms to

$$*R_{\mu\ \rho\sigma;\nu}^{\ \nu} = 0 and / or R^*_{\mu\nu\rho\ ;\sigma}^{\ \ \ \sigma} = 0 .$$

Or that can be rewritten as follows

$$*R^*_{\alpha\beta\mu\ ;\nu}^{\ \ \ \nu} = 0 and / or *R^*_{\alpha\ \mu\nu;\beta}^{\ \beta} = 0 .$$

And twice dual conjugate Riemann's tensor $*R^*_{\alpha\beta}^{\ \ \mu\nu}$ can be represented by Riemann's and its contractions, i. e. by Ricci's tensor and scalar, for the expression

$$E^{\alpha\beta\rho\sigma} E_{\gamma\delta\mu\nu} = \varepsilon^{\alpha\beta\rho\sigma} \varepsilon_{\gamma\delta\mu\nu}$$

can be calculated and expressed by the Kronecker δ -symbols:

$$*R^*_{\alpha\beta}^{\ \ \mu\nu} = -R^{\mu\nu}_{\ \ \alpha\beta} + \delta^\mu_\alpha R^\nu_\beta + \delta^\nu_\beta R^\mu_\alpha - \delta^\mu_\beta R^\nu_\alpha - \delta^\nu_\alpha R^\mu_\beta - \frac{1}{2} R \delta^{\mu\nu}_{\alpha\beta} = \quad (1)$$

Hereafter the notations are used

$$\delta^{\mu\nu}_{\alpha\beta} = \delta^\mu_\alpha \delta^\nu_\beta - \delta^\nu_\alpha \delta^\mu_\beta, \quad g_{\alpha\beta\mu\nu} = g_{\alpha\mu} g_{\beta\nu} - g_{\alpha\nu} g_{\beta\mu} .$$

Professor D. Fairlie kindly informed me of the remarkable Lanczos paper [6], where betweenness relation $R_{\alpha\beta\mu\nu}$ and $*R^*_{\alpha\beta\mu\nu}$ probably first had been obtained for the euclidean signature space-time.

The next important step is to expand the Riemann tensor into sum of two parts,

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = \frac{1}{2}(R_{\alpha\beta\mu\nu} + *R^*_{\alpha\beta\mu\nu} + R_{\alpha\beta\mu\nu} - *R^*_{\alpha\beta\mu\nu}) = R_{\alpha\beta\mu\nu} + S_{\alpha\beta\mu\nu}, \quad (2)$$

where

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = \frac{1}{2}(R_{\alpha\beta\mu\nu} - *R^*_{\alpha\beta\mu\nu}), \quad S_{\alpha\beta\mu\nu} = \frac{1}{2}(R_{\alpha\beta\mu\nu} + *R^*_{\alpha\beta\mu\nu}). \quad (3)$$

Now one can represent the tensors $R_{\alpha\beta\mu\nu}$ and $S_{\alpha\beta\mu\nu}$ by Riemann's tensor and Ricci's tensor and scalar

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = R_{\alpha\beta\mu\nu} - \frac{1}{2}(g_{\alpha\mu} R_{\beta\nu} + g_{\beta\nu} R_{\alpha\mu} - \quad (4)$$

$$- g_{\alpha\nu} R_{\beta\mu} - g_{\beta\mu} R_{\alpha\nu} - \frac{1}{2} R g_{\alpha\beta\mu\nu}).$$

$$S_{\alpha\beta\mu\nu} = \frac{1}{2}(g_{\alpha\mu} R_{\beta\nu} + g_{\beta\nu} R_{\alpha\mu} - g_{\alpha\nu} R_{\beta\mu} - g_{\beta\mu} R_{\alpha\nu} - \frac{1}{2} R g_{\alpha\beta\mu\nu}). \quad (5)$$

One must already say something about the tensorial properties. The $S_{\alpha\beta\mu\nu}$ is noteworthy. Note it is expressed by the Ricci tensor and scalar only, not by Riemann's.

The tensor $R_{\alpha\beta\ \nu}^{\ \ \ \nu}$ should not be confused with the Weyl conformal tensor $C_{\alpha\beta\mu\nu}$

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = C_{\alpha\beta\mu\nu} + \frac{1}{12} R g_{\alpha\beta\mu\nu} .$$

Further, when twice dual conjugating, both $S_{\alpha\beta\mu\nu}$ and $R_{\alpha\beta\mu\nu}$ transform *simply*

$$*S^*_{\alpha\beta\mu\nu} = +S_{\alpha\beta\mu\nu}, \quad *R^*_{\alpha\beta\mu\nu} = -R_{\alpha\beta\mu\nu}, \quad (6)$$

i. e., $S_{\alpha\beta\mu\nu}$ and $R_{\alpha\beta\mu\nu}$ are respectively twice selfdual and antiselfdual parts of the curvature tensor.

It makes sense to introduce a new "quantum" number --- d-parity, characterizing behavior of tensors (like curvature one) under twice dual conjugation. For example, $R_{\alpha\beta\mu\nu}$ is odd, and $S_{\alpha\beta\mu\nu}$ – even under d-parity reflection. Two more examples of d-odd tensors are $g_{\alpha\beta\mu\nu}$ and $E_{\alpha\beta\mu\nu}$.

There are nontrivial equations

$$S_{\alpha\beta\mu\nu} = 0 \quad (7)$$

and

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = 0 . \quad (8)$$

These equations have a direct relationship to instantons in nonabelian gauge theories. In particular in the case of $SO(4)$ or $SU(2)$ gauge group, they describe the Belavin-Polyakov-Schwarz-Tyupkin instanton and anti-instanton [1].

Below we shall see the equation ((8)) describes the gravitational instantons.

Some solutions to these equations have been obtained in [5]. For example, the equation ((7)) has a static solution in the metric

$$ds^2 = e^{\nu(t,r)} dt^2 - e^{\lambda(t,r)} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) . \quad (9)$$

Six equations ((7)) with nonvanishing left member reduce to the only second order equation

$$\lambda = -\nu, \qquad \nu'(r) + \nu'^2(r) = \frac{2}{r^2}(1 - e^{-\nu}) .$$

The solution is

$$e^\nu = 1 + C_1 r^2 + \frac{C_2}{r} . \quad (10)$$

Thus central-symmetric solution to equation ((7)) is static and quite similar to Schwarzschild's [8] except for $C_1 r^2$. It is not without purpose and we'll be back to this as well as to equations ((7)) and ((8)). Below we'll see that for equation ((7)) with vanishing right hand side $C_2 = 0$.

FROM EINSTEIN'S TO GRAVITATIONAL YANG-MILLS' EQUATIONS

Solution to equation ((7)) including the Schwarzschild solution suggests that it is possible to use this equation instead of Einstein's [2]

$$R_{\alpha\mu} - \frac{1}{2} R g_{\alpha\mu} = \Lambda g_{\alpha\mu} + T_{\alpha\mu}, \quad R + T = -4\Lambda \quad (11)$$

although in emptiness. Really, solution to this equation in the metric ((9)) coincide with ((10)), if $C_1 = \Lambda$. Even more so, the tensor $S_{\alpha\beta\mu\nu}$ in the left hand side ((7)) is fully determined by the Ricci tensor.

At this point, we want to call attention to one little drawback to the Einstein equations. Of course, at times, there had been many discussions treating various advantages and disadvantages of these equations although the former are of the overwhelming majority. This one has most likely been discussed

before. The point is that ((11)) are system of differential equations of second order in metric. And the Schwarzschild solution has merely one integration constant. With more detailed examination of Schwarzschild's problem, it turns out that among the equations there are both first order equations and second order. With all that, solutions to first order equations and second order equations are compatible provided that one of the two integration constants is strictly fixed. It is the reason that the Einstein second order equation system solution (the Schwarzschild solution) contains solely one integration constant.

This fact is of course known but completely ignored. We find on this point, Einstein's equations are somewhat inconsistent.

Further heuristically, there will be obtained equation to generalize Einstein's equation ((11)). Then the new equation will be proclaimed as one of the basic equations describing gravity produced by matter. After that, it will be seen the new equation implies the gravitational Yang-Mills equation. Finally, Einstein's equations will be shown to follow from both the new equation and gravitational Yang-Mills'.

First expressing the Ricci tensor from ((11)) and substituting that in ((5)), we can find

$$S_{\alpha\beta\mu\nu} = \Theta_{\alpha\beta\mu\nu}, \tag{12}$$

where

$$\Theta_{\alpha\beta\mu\nu} = \frac{1}{2}(g_{\alpha\mu}T_{\beta\nu} + g_{\beta\nu}T_{\alpha\mu} - g_{\alpha\nu}T_{\beta\mu} - g_{\beta\mu}T_{\alpha\nu} - \frac{1}{2}Tg_{\alpha\beta\mu\nu}). \tag{13}$$

This tensor is built from the metric tensor and the energy-momentum tensor. Later it will be used instead of the energy-momentum tensor. Note that the tensor $\Theta_{\alpha\beta\mu\nu}$ is d-even like $S_{\alpha\beta\mu\nu}$.

Now the important step follows. Let us forget the Einstein equation and instead consider the equation ((12)) as one of the basic equations of gravity generated by matter.

Differentiate covariantly with respect to x^ν the equation ((12))

$$S_{\alpha\beta\mu}{}^{\nu}{}_{;\nu} = \Theta_{\alpha\beta\mu}{}^{\nu}{}_{;\nu}. \tag{14}$$

Having remembered what is $S_{\alpha\beta\mu\nu}$ ((5)), it follows that[1]

$$R_{\alpha\beta\mu}{}^{\nu}{}_{;\nu} = 2\Theta_{\alpha\beta\mu}{}^{\nu}{}_{;\nu} \equiv J_{\alpha\beta\mu}. \tag{15}$$

So, the tensor $\Theta_{\alpha\beta\mu\nu}$ determines the matter current or the gravity matter source in the gravitational Yang-Mills equation. The current is not even conserved covariantly since the multiple covariant derivatives don't commute.

Now making contraction over α,μ

$$R_{\beta}{}^{\nu}{}_{;\nu} = 2\Theta_{\beta}{}^{\nu}{}_{;\nu}$$

and taking into account the Bianchi identity and explicit form of the tensor $\Theta_{\alpha\beta\mu\nu}$ we obtain

$$(R+T)^{,\beta} = 0. \tag{16}$$

After integration

$$R + T = -4\Lambda, \tag{17}$$

where -4Λ is the integration constant.

Now we have arrived at the cross-roads. There are two alternatives. One can consider the equation ((12)) as a basic one. Then it implies both equations ((15)) and ((17)).

Otherwise, we can consider the gravitational Yang-Mills equation ((15)) as the basic one. Then we have to take ((12)) as a condition. This second option is preferable.

Once again let's go back to equation ((15)). It is of the form of the Yang-Mills equation. The proposal is to consider it as a basic gravitational equation. And the equality ((17)) is the integral of motion, i. e. a conservation law.

Let's demonstrate that the Einstein equations are implied by the basic equations ((15)) and ((12)). First the conservation law ((17)) is obtained from ((15)). Then contract ((12)) over (β,ν) and eliminate T by means of ((17)). As a result, we have exactly Einstein's equations ((11)). Λ, the constant is obviously interpreted as a *cosmological term* appeared as an integration one!

Thus it is shown that the equations ((12)), ((15)) are equivalent to Einstein's. It is the equations those are the basic gravitational equations. The equation ((15)) is the *basic dynamic* one, and another one ((12)) is a *side condition* which among fields singles out those generated by matter.

Coming back to equations ((12)), or to ((7)) in emptiness, we can see the equations solution in emptiness ((10)) includes two integration constants, one of which apparently associates with Λ. The solution describes (out of the matter distribution) empty constant curvature space with the scale factor $1/\sqrt{\Lambda}$ and with the central-symmetry matter distribution about the point of origin. Let a point mass be at origin. Then with this origin, the metric is given by ((10)), and C_2 is proportional to the mass. As for another constant, it seems to be possible to choose C_1 proportional to Λ. Thus ((10)) is the Schwarzschild static solution in the constant curvature space. We consider it as a manifestation of fact that gravity is nonabelian. The solution ((10)) describes the local geometry in the neighborhood of some spherically symmetric matter distribution. This geometry is determined by both the mass (more precisely, energy-momentum) and Λ. Is that Λ the same in case of any mass or not? In other words, is the cosmological constant Λ *universal*? Assume for a while that it is not the case and Λ is specific for each mass and has an arbitrary value. Then the cubic equation

$$g_{00} = e^{\nu} = 1 + C_1 r^2 + \frac{C_2}{r} = 0$$

determines the generalized Schwarzschild spheres radii (horizons), number of which is up to three. This would essentially affect the black holes theory.

Classically, the solution ((10)) if you wish could be interpreted as exhibition of asymptotic freedom in gravity.

It specially should be noted that the vacuum solution (in empty space) to the equation ((12)), i. e. ((10)) is nontrivial, as distinct from the Einstein theory. That is, this solution does not just reduce to the Minkowski spacetime. There are both static solutions ((10)) and nonstatic ones with the de Sitter asymptotic solution. For example, for the (closed) Robertson-Walker metric

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t)\left(d\chi^2 + \sin^2\chi(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)\right) \quad (18)$$

the equation ((12)) in emptiness for the scale factor $a(t)$ is of the form

$$a\ddot{a} - \dot{a}^2 - 1 = 0.$$

The vacuum solution is

$$a(t) = a_0 \cosh\frac{t - t_0}{a_0}.$$

Similarly, for the open metric

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t)\left(d\chi^2 + \sinh^2\chi(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)\right) \quad (19)$$

the equation for $a(t)$

$$a\ddot{a} - \dot{a}^2 + 1 = 0,$$

has a solution

$$a(t) = a_0 \sinh\frac{t - t_0}{a_0}$$

or

$$a(t) = a_0 \sin\frac{t - t_0}{a_0}.$$

For the latter case $a(t)$ is alternating in sign that seems not to be of physical meaning.

One can use the model equations e. g. to construct cosmological models. That's done. On cursory examination, the Einstein-Friedmann cosmology remains intact. However now the cosmological term seem to be the necessary element of the theory. It should be experimentally measured in the observation cosmology. In the sense, "the dark matter problem" might seem otherwise. Universality of Λ-term in this approach is open to question.

NON-EINSTEINIAN GRAVITY

It is quite clear that the equations ((15)) are more general than the Einstein General Relativity. Namely, any real gravitational field is considered to obey these equations. Of all fields, the Einstein theory extracts the ones to be generated by the matter energy-momentum. Within the theory proposed, the extraction happens by imposing the side condition ((12)). This condition is analogous to self-duality conditions for instantons in the Yang-Mills theory. However it is not the vacuum one. It is possible to treat some other conditions which might extract non-Einsteinian solutions for gravitational fields.

Let us try to discuss possible conditions for gravity. Quite general side condition for equation ((15)) is of the form

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = \kappa R^*_{\alpha\beta\mu\nu} + \varepsilon\, {}^*R^*_{\alpha\beta}{}^{\mu\nu} + \lambda g_{\alpha\beta\mu\nu} + \zeta E_{\alpha\beta\mu\nu} + 2\Theta_{\alpha\beta\mu\nu}.$$

This is more general than (). This implies the basic equation () fulfilled. In the matter presence $\Theta_{\alpha\beta\mu\nu} \neq 0$, and taking $\varepsilon = -1, \kappa, \lambda, \zeta = 0$, we obtain the equation ((12)). Then the Einstein equation holds and the source conservation takes place. Consequently, the gravitational field equations imply motion equations of matter in the gravitation field generated by the matter.

All that will not occur with alternative set of constants $\varepsilon, \kappa, \lambda, \zeta$. Still admissibility of such a condition is open to question.

In the case of $\Theta_{\alpha\beta\mu\nu} = 0$ we deal with the *vacuum* side conditions.

Vacuum solutions to equation ((15)) could be called gravitational instantons. General representation for instanton is

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = \kappa R^*_{\alpha\beta\mu\nu} + \varepsilon\, {}^*R^*_{\alpha\beta\mu\nu} + \lambda g_{\alpha\beta\mu\nu} + \zeta E_{\alpha\beta\mu\nu}. \quad (20)$$

If the condition holds then gravitational Yang-Mills equation ((13)) will be obeyed. The constants $\kappa, \varepsilon, \lambda, \zeta$ are not quite arbitrary and should be determined.

Alternatively instead of ((20)), one can consider the equation

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = \kappa\, {}^*R_{\alpha\beta\mu\nu} + \varepsilon\, {}^*R^*_{\alpha\beta}{}^{\mu\nu} + \lambda g_{\alpha\beta\mu\nu} + \zeta E_{\alpha\beta\mu\nu}.$$

Its solution provides the equation

$$R_{\alpha}{}^{\beta}{}_{\mu\nu;\beta} = 0$$

to be fulfilled.

The analysis of the equation ((20)) is rather complicated so we shall restrict our consideration to particular cases.

We have already discussed the vacuum solutions to the equation ((12)). Here is another possibility: $\varepsilon = 1; \kappa, \zeta = 0$, λ is arbitrary. Then we have the non-Einsteinian equation

$$R_{\alpha\beta\mu\nu} = \lambda g_{\alpha\beta\mu\nu}. \quad (21)$$

Both left and right members of the equation are d-even. Contracting over α, μ and β, ν, we obtain

$$R = 12\lambda.$$

Let's remind ourselves that we have the matter vacuum, hence $T = 0$. It seems correct in cosmology to relate λ to the cosmology term. Generally it is arbitrary and possibly relates to the local vacuum fluctuations of the gravitational fields in Universe.

The equation ((21)) can be solved in the (closed) Robertson-Walker metric. The equation for $a(t)$

$$a\ddot{a} + \dot{a}^2 + 1 = -2\lambda a^2 \qquad (22)$$

has a solution

$$a(t) = \sqrt{C_1 \exp(2\sqrt{-\lambda}t) + C_2 \exp(-2\sqrt{-\lambda}t) - \frac{1}{2\lambda}}. \qquad (23)$$

It is not analytic in λ. Note a simple constant solution

$$a(t) = a_0 = -\frac{1}{2\lambda}.$$

This solution describes the empty constant positive curvature space. Could not it be called a gravipole? Really it is the same solution as the static solution ((10)) to equation ((7)) in emptiness, i. e. with $C_2 = 0$. It is impossible to pass directly on to $\lambda = 0$ in this metric. However that corresponds to the solution to equation ((21)) as the empty Minkowski space.

In the case $\lambda = 0$, there is a time-dependent solution in the metric ((18))

$$a(t) = a_0 \sqrt{1 - \left(\frac{t - t_0}{a_0}\right)^2}.$$

There are similar solutions in the open Robertson-Walker metric as well. Interestingly, the matter motion (e. g. the test point mass) in the vacuum gravitational fields is already not determined by the field equations but obeyed the geodesic equation .

New approach allows more directly than before to discuss topological effects in gravitation. Really, the conditions ((21)) are "topological". Projecting ((21)) onto $R^{\alpha\beta\mu\nu}$ (i. e. multiplying and contracting) results in

$$R^{\alpha\beta\mu\nu} R_{\alpha\beta\mu\nu} - 2\lambda R = \kappa R^{\alpha\beta\mu\nu} R^*_{\alpha\beta\mu\nu} + \varepsilon R^{\alpha\beta\mu\nu} {}^*R^*_{\alpha\beta\mu\nu}.$$

After integration, we can see that (in case of convergence) topological numbers can be expressed in terms of invariants quadratic and linear in curvature. Nontrivial topological solutions seem to exist in manifolds with Euclidean signature.

CONCLUSION

So, a new version of gravity is proposed. It is in form and fact the nonabelian Yang-Mills theory of gravitational field with own rich dynamics and nontrivial topology. The theory contains Einstein General Relativity.

It is impossible to avoid a question: what are the Einstein equations? Do they express any conservation law? Or are they any compatibility conditions due to the gauge group peculiarity? It should be specially noted that in the new theory the dynamics is described by the equation ((15)) in presence of the side condition ((12)) and/or others. And the Einstein equations themselves are sequel of this condition and the conservation law ((17)). We have to consider various conditions as well as Einstein's equations as *constraints*. Perhaps that might change the situation with quantizing gravity.

As for application the theory to astrophysics and cosmology, it is the next job ahead. At once one can say that standard Einstein-Friedmann cosmological model seems not to change. Cosmological term situation may become more definitive. It is not matter of a taste: to work or not to work with that. One must to measure that. Once again one has to say that it is not clear whether Λ is universal.

This new approach has nothing to say as yet about black hole physics. The task in hand is to search for nontrivial topology solutions. It may be time to pass over from chattering about spacetime foam and quantizing gravity [3], [7] to practice.

The theory proposed is natural from the viewpoint the unity of interactions. Gauge invariance and duality are the underlying ideas. Some of these ideas are not yet exhausted in gravity and of interest to apply in the Yang-Mills theory. But this is another topic.

ACKNOWLEDGEMENTS

I am indebted to Professor David Fairlie for disinterested help, useful discussion and elucidation of some issues.

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

NOTES

[1] Cosmas Zachos pointed out that (15) can be obtained without references to duality just by contracting the Bianchi identity, then taking into account Einstein's equation.

REFERENCES

1. Belavin A., Polyakov A., Schwarz A. and Tyupkin I. Pseudoparticle solutions of the Yang-Mills equations // Phys. Lett. 1975. Vol. B59. P. 85.
2. Einstein A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie // Ann. d. Phys. 1916. Vol. 49. P. 769.
3. Hawking S. Space-Time Foam // Nuclear Phys. 1978. Vol. B144. P. 349.
4. Kibble T. W. Lorentz invariance and the gravitational field // Journ. of Math. Phys. 1961. Vol. 2. P. 212.
5. Koshkarov A. L. On General Relativty Extension. URL: Arxiv-org e-print archive, hep-th/9710038
6. Lanczos C. A remarkable property of the Riemann-Christoffel tensor in four dimensions // Annals of Math. 1938. Vol. 39, 4. P. 842.

7. Misner C., Thorne K. and Wheeler J. Gravitation. San Francisco: W. H. Freeman and Company Limited, 1973. Vol. 1, 2, 3.
8. Schwarzschild K. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. Berlin, 1916. 189 s.
9. Utiyama R. Invariant Theoretical Interpretation of Interaction // Phys. Rev. 1956. Vol. 101. P. 1597.
10. Yang C. N. and Mills R. L. Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance // Phys. Rev. 1954. Vol. 96. P. 191.

Koshkarov A. L., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ON A GENERAL RELATIVITY EXTENSION

The thorough analysis of the duality properties of the Riemann curvature tensor points to the possibility of the extension of Einstein's General Relativity to a nonabelian Yang-Mills theory. The equations of motion of the theory are the Yang-Mills' equations for the curvature tensor. Einstein's equations (with cosmological term to appear as an integration constant) are contained in the theory proposed. What is new is that now the gravitational field is not exclusively determined by the matter energy-momentum but can possess its own non-Einsteinian dynamics (vacuum fluctuations, self-interaction) which is generally an attribute of a nonabelian gauge field. The gravitational equations proper due to either matter energy-momentum or vacuum fluctuations are side conditions imposed on the Riemann tensor, like self-duality conditions. One of such conditions in the end results in Einstein's equations, other ones are the gravitational instantons equations.

Key words: nonabelian duality, instanton, noneinsteinian gravity, cosmological term

REFERENCES

1. Belavin A., Polyakov A., Schwarz A. and Tyupkin I. Pseudoparticle solutions of the Yang-Mills equations // Phys. Lett. 1975. Vol. B59. P. 85.
2. Einstein A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie // Ann. d. Phys. 1916. Vol. 49. P. 769.
3. Hawking S. Space-Time Foam // Nuclear Phys. 1978. Vol. B144. P. 349.
4. Kibble T. W. Lorentz invariance and the gravitational field // Journ. of Math. Phys. 1961. Vol. 2. P. 212.
5. Koshkarov A. L. On General Relativty Extension. URL: Arxiv-org e-print archive, hep-th/9710038
6. Lanczos C. A remarkable property of the Riemann-Christoffel tensor in four dimensions // Annals of Math. 1938. Vol. 39, 4. P. 842.
7. Misner C., Thorne K. and Wheeler J. Gravitation. San Francisco: W. H. Freeman and Company Limited, 1973. Vol. 1, 2, 3.
8. Schwarzschild K. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. Berlin, 1916. 189 s.
9. Utiyama R. Invariant Theoretical Interpretation of Interaction // Phys. Rev. 1956. Vol. 101. P. 1597.
10. Yang C. N. and Mills R. L. Conservation of Isotopic Spin and Isotopic Gauge Invariance // Phys. Rev. 1954. Vol. 96. P. 191.

Поступила в редакцию 25.07.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 51-74

МИХАИЛ БОРИСОВИЧ ГИППИЕВ
аспирант кафедры теории вероятностей и анализа данных математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
gippiev@gmail.com

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОВ
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и анализа данных математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
rogov@psu.karelia.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ СИМВОЛОВ В СТЕНОГРАФИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТАХ НА ОСНОВНЫЕ, НАДСТРОЧНЫЕ И ПОДСТРОЧНЫЕ*

При дешифровке исторических стенографических документов относительное местоположение символа влияет на его смысл. Мы определяем три позиции: основная, надстрочная или подстрочная. В работе приводятся результаты сравнения двух алгоритмов классификации символов по их положению методом одинарной и методом двойной аппроксимации. Параметры алгоритмов выбирались экспериментально, использовалась обучающая выборка. Для построения выборки вначале выделяются строки на стенограммах (в автоматическом режиме), а затем определяется тип каждого символа. Качество работы алгоритмов определяется пятью показателями: корректность, точность, полнота, F-мера и обобщенная F-мера. На основании обобщенной F-меры лучший результат показал алгоритм классификации символов методом двойной аппроксимации. Кроме того, для каждого алгоритма классификации определены оптимальные настроечные параметры, при которых среднее значение обобщенной F-меры на контрольной выборке является максимальным.

Ключевые слова: стенографический документ, алгоритм классификации символов, надстрочные и подстрочные символы, метод аппроксимации

ВВЕДЕНИЕ

Для правильной дешифровки исторических стенографических документов [4] требуется определить тип каждого символа (графемы), то есть отнести его к основным, надстрочным или подстрочным символам. Из-за искажений рукописного текста, связанных с привычками автора, скоростью письма, аккуратностью, наклоном текста в ту или иную сторону, заваливанием, исправлением, зачеркиванием текста и некоторыми другими факторами, точно решить эту задачу невозможно. В работе [3] предлагается математическая модель дешифровки стенограмм. Использование этой модели предполагает знание вероятности того, что стенографический символ относится к основным, надстрочным или подстрочным. В данной статье описываются два алгоритма вычисления этих вероятностей и результаты сравнения их работы. Оба алгоритма используют метод аппроксимации, так как проведенный анализ показал, что строки в стенографических документах, как правило, имеют форму, которую можно аппроксимировать полиномом некоторой степени.

Для объективного сравнения качества работы алгоритмов классификации символов была построена контрольная последовательность, то есть в стенографических документах были выделены строки и для каждого символа указан его тип. Оценки были рассчитаны путем сравнения результатов работы алгоритма классификации символов с контрольной последовательностью. Были рассмотрены корректность, которая рассчитывается как отношение количества правильно классифицированных символов к общему количеству символов, точность, полнота и F-мера [6] для каждого типа символов, а также обобщенная F-мера, представляющая собой среднее значение оценок F-меры для каждого типа символов.

При оценке считалось, что символ относится к тому или иному типу, если вероятность данного события превышала 50 процентов. Кроме того, разбиение символов на строки выполнялось с помощью алгоритма распознавания строк методом построения графа связей, описанного в работе [1]. В качестве итоговой оценки, на основании которой проводилось оценивание качества алгоритмов классификации символов, была выбрана обобщенная F-мера.

АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СИМВОЛОВ МЕТОДОМ ОДИНАРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Задается степень аппроксимирующего полинома m [5]. Предположим, что для каждого стенографического символа известны его размеры и то, к какой строке он относится. Строим полиномиальную аппроксимирующую функцию

© Гиппиев М. Б., Рогов А. А., 2014

степени m по центрам символов одной строки (рис. 1). Кривую, заданную аппроксимирующей функцией, будем называть линией аппроксимации. Определяем расстояния между центрами символов и линией аппроксимации. Обозначим это расстояние для некоторого символа за ε. Тогда вероятность того, что данный символ является основным, будем считать равной

$$P_{осн} = e^{-\lambda\varepsilon}, \quad (1)$$

а вероятность того, что данный символ является надстрочным, в случае если он расположен над линией аппроксимации, либо подстрочным, если он расположен под линией аппроксимации, равной

$$P_{неосн} = 1 - e^{-\lambda\varepsilon}, \quad (2)$$

где λ – некоторый коэффициент, который подбирается в зависимости от стенограммы. При этом $P_{осн} + P_{неосн} = 1$.

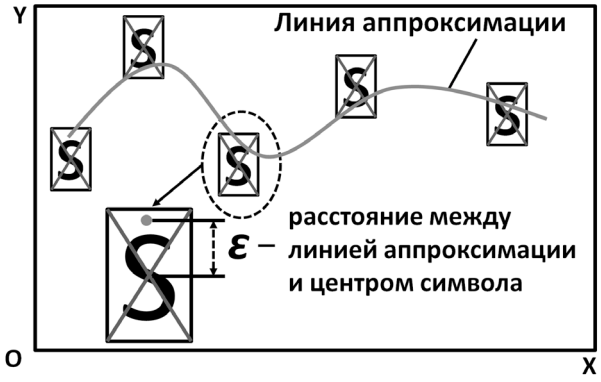


Рис. 1. Распознавание типов символов методом одинарной аппроксимации

Таблица 1

Лучшие средние значения обобщенной F-меры алгоритма классификации символов методом одинарной аппроксимации

m	λ	Обобщенная F-мера				
		Стенограмма				Среднее значение
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
4	0,0473	0,4696	0,5831	0,5661	0,6728	0,5729
4	0,0474	0,4696	0,5831	0,5661	0,6728	0,5729
4	0,047	0,4686	0,5831	0,5661	0,6728	0,57265
4	0,0481	0,4776	0,5726	0,5613	0,6728	0,571075
4	0,0471	0,4655	0,5831	0,5661	0,6728	0,571875
4	0,0472	0,4655	0,5831	0,5661	0,6728	0,571875
4	0,0487	0,4733	0,5883	0,5613	0,6613	0,57105
4	0,0488	0,4733	0,5883	0,5613	0,6613	0,57105
4	0,0475	0,4696	0,5795	0,5629	0,6728	0,5712
4	0,0476	0,4696	0,5795	0,5613	0,6728	0,5708
4	0,0682	0,5087	0,5169	0,5012	0,5405	0,516825
1	0,0326	0,3618	0,6744	0,5031	0,523	0,515575
4	0,0419	0,3825	0,5697	0,5854	0,6336	0,5428
3	0,0377	0,3924	0,5991	0,5135	0,6945	0,549875

Для алгоритма классификации символов методом одинарной аппроксимации были получены значения обобщенной F-меры на четырех стенографических документах при различных значениях настроечных параметров. Значения коэффициента λ брались из диапазона от 0,025 до 0,155 с шагом 0,0001, а значения степени аппроксимирующего полинома – из диапазона от 0 до 10 с шагом 1. В табл. 1 приведены лучшие средние значения обобщенной F-меры. Последние четыре строки таблицы содержат максимальные значения обобщенной F-меры для каждой из стенограмм. При этом средние значения обобщенной F-меры в этих строках оказались заметно хуже, чем в остальных строках таблицы.

АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СИМВОЛОВ МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ

Задается степень аппроксимирующего полинома m. Для символов одной строки построим две полиномиальные аппроксимирующие функции: одну $\varphi_T(x)$ по точкам, являющимся серединами верхних сторон, и другую $\varphi_B(x)$ по точкам, являющимся серединами нижних сторон прямоугольников, в которые вписаны символы строки. При этом верхняя и нижняя стороны каждого такого прямоугольника параллельны оси абсцисс.

Пусть некоторый символ S вписан в прямоугольник, центр которого находится в точке с абсциссой x_{S_C}, тогда аппроксимирующая функция, построенная по серединам верхних сторон прямоугольников, описывающих символы строки, принимает в данной точке значение $y_{A_T} = \varphi_T(x_{S_C})$, а аппроксимирующая функция, построенная по серединам нижних сторон прямоугольников, описывающих символы строки, принимает значение $y_{A_B} = \varphi_B(x_{S_C})$. Точки, лежащие на верхней стороне прямоугольника, описывающего символ S, имеют ординату y_{S_T}, а точки, лежащие на нижней стороне, имеют ординату y_{S_B}. Определим новые значения ординат $\tilde{y}_{S_T}$ и $\tilde{y}_{S_B}$, которые зависят от взаимного расположения линий аппроксимаций и сторон прямоугольника, описывающего символ S.

Для $\tilde{y}_{S_T}$:

- если $y_{S_T} > y_{A_T}$, тогда $\tilde{y}_{S_T} = y_{A_T}$;
- если $y_{S_T} < y_{A_B}$, тогда $\tilde{y}_{S_T} = y_{A_B}$;
- если $y_{A_B} \le y_{S_T} \le y_{A_T}$, тогда $\tilde{y}_{S_T} = y_{S_T}$.

Аналогично для $\tilde{y}_{S_B}$:

- если $y_{S_B} > y_{A_T}$, тогда $\tilde{y}_{S_B} = y_{A_T}$;
- если $y_{S_B} < y_{A_B}$, тогда $\tilde{y}_{S_B} = y_{A_B}$;
- если $y_{A_B}'' \; y_{S_B}'' \; y_{A_T}$, тогда $\tilde{y}_{S_B} = y_{S_B}$.

После чего выполним следующие действия:

- определим ординату центра отрезка, параллельного оси OY, ординаты концов которого равны соответственно y_{A_T} и y_{A_B}, и обозначим ее за y_{A_C};
- определим ординату центра отрезка, параллельного оси OY, ординаты концов которого равны соответственно $\tilde{y}_{S_T}$ и $\tilde{y}_{S_B}$, и обозначим ее за $\tilde{y}_{S_C}$;
- определим длину отрезка, параллельного оси OY, ординаты концов которого равны соответственно y_{A_T} и y_{A_B}, и обозначим ее за h_A;
- определим длину отрезка, параллельного оси OY, ординаты концов которого равны соответственно y_{A_C} и $\tilde{y}_{S_C}$, и обозначим ее за h_C.

Вероятность того, что символ S является основным, примем равной

$$P_{осн} = \frac{(h_A/2 - h_C)}{h_A/2}, \quad (3)$$

а вероятность того, что символ S является надстрочным ($\tilde{y}_{S_C} > y_{A_C}$) или подстрочным ($\tilde{y}_{S_C} < y_{A_C}$), равной

$$P_{неосн} = \frac{h_C}{h_A/2}. \quad (4)$$

На рис. 2 представлена схема с обозначениями, используемыми в вышеописанном алгоритме.

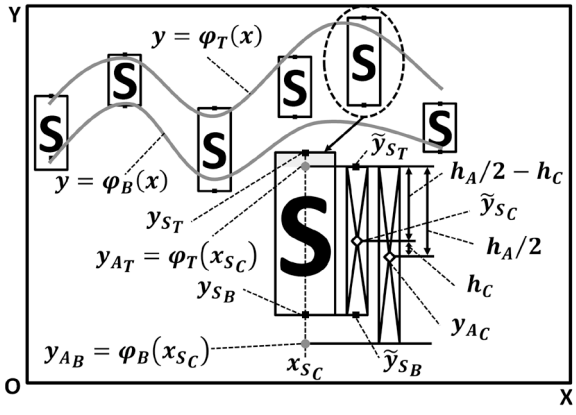


Рис. 2. Распознавание типов символов методом двойной аппроксимации

Для алгоритма классификации символов методом двойной аппроксимации были получены значения обобщенной F-меры на четырех стенографических документах, приведенных в предыдущей таблице, при значениях степени аппроксимирующего полинома, которые брались из диапазона от 0 до 10 с шагом 1. В табл. 2 приведены лучшие средние значения обобщенной F-меры.

Таблица 2

Лучшие средние значения обобщенной F-меры алгоритма классификации символов методом двойной аппроксимации

m	Обобщенная F-мера				
	Стенограмма				Среднее значение
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
4	0,5591	0,6886	0,5462	0,6756	0,617375
4	0,5524	0,6246	0,6287	0,6405	0,61155
4	0,5572	0,7172	0,4914	0,675	0,6102
4	0,5572	0,6	0,6506	0,6104	0,60455
4	0,5607	0,6558	0,5618	0,6344	0,603175

ОЦЕНКА АЛГОРИТМОВ КЛАССИФИКАЦИИ СИМВОЛОВ

В табл. 3 представлены лучшие оценки алгоритмов классификации символов методом одинарной аппроксимации и методом двойной аппроксимации на стенографических документах, приведенных в предыдущих таблицах.

Таблица 3

Лучшие оценки алгоритмов классификации символов

Оценка	Алгоритм классификации символов					
	Методом одинарной аппроксимации			Методом двойной аппроксимации		
СТЕНОГРАММА № 1 (SAVE_LOG_DSCN4795)						
Корректность	0,724			0,8368		
Тип символов	Осн.	Надстр.	Подстр.	Осн.	Надстр.	Подстр.
Полнота	0,7838	0,5333	0,4854	0,952	0,2667	0,4078
Точность	0,8651	0,1143	0,5495	0,8617	0,2	0,84
F-мера	0,8225	0,1882	0,5155	0,9046	0,2286	0,549
Обобщенная F-мера	0,5087			0,5607		
СТЕНОГРАММА № 2 (SAVE_LOG_DSCN4859)						
Корректность	0,8728			0,8902		
Тип символов	Осн.	Надстр.	Подстр.	Осн.	Надстр.	Подстр.
Полнота	0,9422	0,7333	0,3784	0,9558	0,6667	0,4595
Точность	0,9142	0,55	0,6087	0,9183	0,6667	0,68
F-мера	0,928	0,6286	0,4667	0,9367	0,6667	0,5484
Обобщенная F-мера	0,6744			0,7172		
СТЕНОГРАММА № 3 (SAVE_LOG_DSCN4868)						
Корректность	0,8418			0,8955		
Тип символов	Осн.	Надстр.	Подстр.	Осн.	Надстр.	Подстр.
Полнота	0,9052	0,5625	0,375	0,9706	0,5	0,375
Точность	0,9203	0,375	0,4138	0,9224	0,5333	0,7059
F-мера	0,9127	0,45	0,3934	0,9459	0,5161	0,4898
Обобщенная F-мера	0,5854			0,6506		
СТЕНОГРАММА № 4 (SAVE_LOG_DSCN4871)						
Корректность	0,8915			0,9009		
Тип символов	Осн.	Надстр.	Подстр.	Осн.	Надстр.	Подстр.
Полнота	0,9834	0,625	0,2609	0,9945	0,5	0,3043
Точность	0,899	1	0,6667	0,9	0,8	1
F-мера	0,9393	0,7692	0,375	0,9449	0,6154	0,4667
Обобщенная F-мера	0,6945			0,6756		

Как видно из приведенных результатов, на трех из четырех стенограмм алгоритм классификации символов методом двойной аппроксимации показал наилучший результат. Это связано с тем, что алгоритм распознавания надстрочных и подстрочных символов методом двойной аппроксимации менее чувствителен к размерам символов. Он учитывает и верхние, и нижние границы символов, а алгоритм распознавания надстрочных учитывает только центры символов, при этом возможна такая ситуация, когда центр крупного символа, который является основным в строке, совпадает с центром надстрочного или подстрочного символа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в статье алгоритмы будут реализованы в создаваемой компьютерной программе для распознавания исторических стенограмм [2].

* Работа выполнена при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиппиев М. Б., Жуков А. В., Рогов А. А., Скабин А. В. Распознавание строк в стенографических документах // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4 [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.science-education.ru/110-9725
2. Рогов А. А., Скабин А. В., Штеркель И. А. Автоматизированная информационная система распознавания исторических рукописных документов // Информационная среда ВУЗА XXI века: Материалы VI Междунар. науч. конф. Куопио (Финляндия), 4–10 декабря 2012. Петрозаводск, 2012. С. 127–130.
3. Скабин А. В., Рогов А. А. Математическая модель распознавания символов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2013. № 6 (135). С. 73–75.
4. Fischer S. A history of writing. London: Reaktion Books, 2004. 352 p.
5. Phillips G. Interpolation and Approximation by Polynomials. Burnaby: Springer Science & Business Media, 2003. 312 p.
6. Powers D. M. W. Evaluation: from precision, recall and f-measure to roc, informedness, markedness & correlation // Journal of Machine Learning Technologies. 2011. Vol. 2. № 1. P. 37–63.

Gippiev M. B., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Rogov A. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

CLASSIFICATION OF SYMBOLS IN SHORTHAND DOCUMENTS: BASIC, SUPERSCRIPT AND SUBSCRIPT

When decoding historic shorthand documents, the relative position of symbols influences their meaning. We distinguish three positions: basic, superscript, or subscript. The article presents a comparison of two algorithms for symbols' classification performed by single and double approximation methods. Algorithm parameters are chosen experimentally using a validation set. The set is created automatically by identifying lines and then defining the type of each symbol. The performance of the algorithms is measured in terms of accuracy, precision, recall, F-measure and summarized F-measure. Based on the summarized F-measure, the best result is achieved with the algorithm for symbols' classification by a double approximation method. We tune the parameters for each algorithm that the summarized F-measure is maximized for the validation data.

Key words: shorthand document, algorithm of symbols' classification, superscript and subscript symbols, approximation method

REFERENCES

1. Gippiev M. B., Zhukov A. V., Rogov A. A., Skabin A. V. Recognition of lines in the historical handwritten documents [Raspoznavanie strok v stenograficheskikh dokumentakh]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2013. № 4. Available at: www.science-education.ru/110-9725
2. Rogov A. A., Skabin A. V., Shterkel' I. A. Automated information system for deciphering of historical shorthand reports [Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema raspoznavaniya istoricheskikh rukopisnykh dokumentov]. *Informatsionnaya sreda VUZA XXI veka* [Information environment of university of XXI century]. Petrozavodsk, 2012. P. 127–130.
3. Skabin A. V., Rogov A. A. Mathematical model of character recognition [Matematicheskaya model' raspoznavaniya simvolov]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2013. № 6 (135). P. 73–75.
4. Fischer S. A history of writing. London: Reaktion Books, 2004. 352 p.
5. Phillips G. Interpolation and Approximation by Polynomials. Burnaby: Springer Science & Business Media, 2003. 312 p.
6. Powers D. M. W. EVALUATION: From precision, recall and f-measure to roc, informedness, markedness & correlation // Journal of Machine Learning Technologies. 2011. Vol. 2. № 1. P. 37–63.

Поступила в редакцию 24.11.2014

Декабрь, № 8. Т. 2 **Физико-математические науки** **2014**

УДК 515.1

ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА КАШУБА
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теории и методики обучения математике и ИКТ в образовании математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
finder_@bk.ru

ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА СТЕПАНОВА
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геометрии и топологии математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
elena_stepanova@mail.ru

О ПОЛУНОРМАЛЬНЫХ ФУНКТОРАХ, ОБЛАДАЮЩИХ ИНВАРИАНТНЫМ ПРОДОЛЖЕНИЕМ НА КАТЕГОРИЮ TYCH

Следуя конструкции Чигогидзе, строится продолжение полунормального функтора F с категории Comp на категорию Tych. При изучении свойств продолжения функтора важную роль играет наличие гомеоморфного отображения $F(f)|_{F_\beta(X)}$ между пространствами $F_\beta(X)$ и $F_b(X)$, где $F_\beta(X)$ – это множество всех точек $\xi \in F(\beta X)$, носитель которых лежит в X; аналогично определяется $F_b(X)$ как подпространство пространства $F(bX)$; $f:\beta X \to bX$ – естественное отображение стоун-чеховского расширения βX на компактное расширение bX. Поэтому будем говорить, что функтор F обладает инвариантным продолжением на категорию Tych, если для любого тихоновского пространства X и любого его компактного расширения bX отображение $F(f)|_{F_\beta(X)}$ является гомеоморфизмом. Получен критерий инвариантности продолжения для полунормальных функторов конечной степени. Кроме того, доказано, что при $n \geq 4$ полунормальный функтор со степенным спектром $spF = \{1;n\}$ не обладает инвариантным продолжением. В заключении статьи приведены примеры функторов λ_3 и μ таких, что $sp\lambda_3 = sp\mu = \{1;3\}$, но при этом λ_3 обладает инвариантным продолжением, а μ не обладает.

Ключевые слова: компактное расширение, продолжение по Чигогидзе, функтор, обладающий инвариантным продолжением

В статье А. Ч. Чигогидзе [6] предложена конструкция продолжения нормального функтора с категории Comp всех компактов и их непрерывных отображений на категорию Tych тихоновских пространств и их непрерывных отображений. Ключевой вопрос при этом: как связаны свойства продолжения со свойствами самого функтора?

В данной статье вводится понятие инвариантности продолжения функтора. При этом всякий нормальный функтор в категории Comp обладает инвариантным продолжением на Tych, и именно это обеспечивает свойство непрерывности продолжения такого функтора [6; 24]. Основной результат работы – это критерий инвариантности продолжения для полунормальных функторов конечной степени (теорема 1).

Пусть $F: Comp \to Comp$ – произвольный полунормальный функтор. Для всякого тихоновского пространства X, следуя Чигогидзе, положим

$$F_\beta(X) = \{\xi \in F(\beta X) : supp\,\xi \subset X\},$$

где βX – стоун-чеховская компактификация пространства X, $supp\,\xi$ – носитель точки ξ [7; 22]. Для тихоновских пространств X и Y и непрерывного отображения $f: X \to Y$ определим $F_\beta(f) = F(\beta f)|_{F_\beta(X)}$, где $\beta f: \beta X \to \beta Y$ – чеховское продолжение отображения f. Нетрудно убедиться в корректности определения отображения $F_\beta(f)$. Для этого достаточно проверить включение $F(\beta f)(F_\beta(X)) \subset F_\beta(Y)$, используя свойство носителей для полунормального функтора F: $g(supp\,\xi) \supset supp(F(g)(\xi))$, где $g: Z \to T$ – непрерывное отображение компактов и $\xi \in F(Z)$ [5; 166]. Таким образом, конструкцию продолжения функтора по Чигогидзе можно применить к полунормальным функторам.

При установлении непрерывности продолжения нормального функтора F ключевую роль играет наличие естественного гомеоморфизма между пространствами $F_\beta(X)$ и $F_b(X) = \{\xi \in F(bX) : supp\,\xi \subset X\}$, где bX – произвольное компактное расширение X (см. предложение 1 [6; 24]). Результатом анализа этого факта является следующее

© Кашуба Е. В., Степанова Е. Н., 2014

Определение. Пусть $F:Comp\to Comp$ – полунормальный функтор, bX – произвольная компактификация тихоновского пространства X и $f:\beta X\to bX$ – естественное отображение [1; 106]. Будем говорить, что функтор F *обладает инвариантным продолжением на категорию Tych*, если для любого тихоновского пространства X и любого его компактного расширения bX отображение $F(f)|_{F_\beta(X)}$ является гомеоморфизмом между пространствами $F_\beta(X)$ и $F_b(X)$.

Для доказательства основных результатов нам понадобятся вспомогательные утверждения.

Предложение 1. Пусть X,Y – компакты, $f:X\to Y$ – непрерывное отображение, A – всюду плотное подмножество X, $B\subset Y$ и $f|_A: A\to B$ – биекция. Отображение $f|_A$ является гомеоморфизмом тогда и только тогда, когда $f(\xi)\notin B$ для любой точки $\xi\in X\setminus A$.

Доказательство. Необходимость. Допустим, что $f|_A$ – гомеоморфизм, но при этом найдется точка $\xi\in X\setminus A$, такая, что $f(\xi)=b\in B$. Так как $f|_A$ – биекция, то $f(\xi)=f(a)=b$ для некоторой точки $a\in A$. Пусть Oa и $O\xi$ – непересекающиеся окрестности точек a и ξ в X. Поскольку $f|_A$ – открытое отображение, множество $f|_A(Oa\cap A)=U_B(b)$ – окрестность точки b в B. Пусть $U(b)$ – открытое в Y множество, такое, что $U_B(b)=U(b)\cap B$. В силу непрерывности f для точки ξ найдется окрестность $O'\xi\subset O\xi$, удовлетворяющая условию $f(O'\xi)\subset U(b)$. Легко проверить, что $\varnothing\neq f|_A(O'\xi\cap A)\subset U_B(b)$. А значит, $f|_A(O\xi\cap A)\cap f|_A(Oa\cap A)\neq\varnothing$, что противоречит биективности $f|_A$.

Достаточность. Пусть $f(\xi)\notin B$ для любого $\xi\in X\setminus A$. Чтобы показать, что $f|_A$ является гомеоморфизмом, достаточно проверить замкнутость отображения $f|_A$, которая сразу следует в этом случае из замкнутости f. □

В дальнейших рассуждениях через n обозначается не только натуральное число, но и дискретное пространство, состоящее из n точек. Отображение Басманова [3]

$$\pi_n: X^n\times F(n)\to F(X)$$

для полунормального функтора F и компакта X определяется равенством $\pi_n(x,\xi)=F(x)(\xi)$, в котором каждая точка $x\in X^n$ отождествляется с отображением $x:n\to X$. Отображение π_n непрерывно и $Im\pi_n=F_n(X)$, где $F_n(X)=\{\xi\in F(X):|supp\xi|\le n\}$. В случае $deg\,F=n$ отображение π_n является отображением «на» [8; 129].

Предложение 2. Если $F:Comp\to Comp$ – полунормальный функтор и $degF=n$, то $F_b(X)$ всюду плотно в $F(bX)$ для любого тихоновского пространства X и любого его компактного расширения bX.

Доказательство. Выберем произвольно точку $\xi\in F(bX)$ и ее окрестность $O\xi$ в $F(bX)$. Рассмотрим отображение Басманова

$$\pi_n:(bX)^n\times F(n)\to F(bX).$$

Отображение π_n сюръективно, значит, существует точка $t=(y_1,y_2,\ldots,y_n,\eta)$, такая, что $\pi_n(t)=\xi$. Поскольку π_n непрерывно, то найдется Ot – окрестность точки t, для которой $\pi_n(Ot)\subset O\xi$. Очевидно, окрестность Ot содержит некоторое множество $T=Oy_1\times Oy_2\times\ldots\times Oy_n\times\{\eta\}$. Пространство X всюду плотно в bX, значит, для любого $i=1,\ldots,n$ существует точка $x_i\in Oy_i\cap X$. Нетрудно проверить, что $\xi_1=\pi_n(x_1,x_2,\ldots,x_n,\eta)\in O\xi$ и $supp\,\xi_1\subset X$, т. е. $\xi_1\in F_b(X)$. □

Для любых k и m, таких, что $0\le k<m$, определим отображение $g_k^m: m\to m$, которое действует по правилу $g_k^m(i)=i$ при $i=0,\ldots,k-1$ и $g_k^m(j)=k$ при $j=k,\ldots,m-1$.

Теорема 1. Полунормальный функтор $F:Comp\to Comp$ конечной степени обладает инвариантным продолжением на категорию Tych тогда и только тогда, когда для любой точки $\xi\in F(n)$ с носителем $supp\,\xi=m\subset n$ $(m\ge 2)$ и для любого $0\le k\le m-2$ выполняется условие $supp\,F(g_k^m)(\xi)\not\subset k$[1].

Доказательство. Необходимость. Пусть $F(f)|_{F_\beta(X)}$ – гомеоморфизм для любого тихоновского пространства X и любого его компактного расширения bX. Допустим, что найдутся точка $\xi\in F(n)$ с носителем $supp\,\xi=m\subset n$ и число $k\le m-2$, такие, что $supp\,F(g_k^m)(\xi)\subset k=\{0,\ldots,k-1\}$.

Возьмем в качестве X счетное дискретное пространство N. В βN выберем m-элементное множество следующим образом: $\{x_0,x_1,\ldots,x_{k-1}\}\subset N\subset\beta N$, $\{x_k,x_{k+1},\ldots,x_{m-1}\}\subset\beta N\setminus N$. Рассмотрим фактор-пространство βN по разбиению, единственным нетривиальным элементом которого является множество $\{x_k,\ldots,x_{m-1}\}$. Очевидно, что это фактор-пространство является компактным расширением bN, а факторное отображение $f:\beta N\to bN$ – естественным отображением компактных расширений. Точку $\{x_k,\ldots,x_{m-1}\}\in bN$ бу-

дем обозначать через x_k. Покажем, что $F(f)|_{F_\beta(N)}$ не является гомеоморфизмом.

Пусть $x: m \to \beta N$ действует по правилу $x(i) = x_i$ для $i = 0,\ldots,m-1$, $h: \{x_0,\ldots,x_k\} \to (k+1) \subset m$ – по правилу $h(x_i) = i$ для $i = 0,\ldots,k$. Пусть $\hat{f} = f|_{\{x_0,\ldots,x_{m-1}\}}$, тогда $h \circ \hat{f} \circ x: m \to m$, причем $h \circ \hat{f} \circ x = g_k^m$. Положим $\xi' = F(x)(\xi) \in F(\beta N)$, $\eta' = F(\hat{f})(\xi') \in F(\{x_0,\ldots,x_k\})$, $\eta = F(h)(\eta') \in F(m)$, то есть $\eta = (F(h) \circ F(\hat{f}) \circ F(x))(\xi)$. При этом $supp\,\xi = m = \{0,\ldots,m-1\}$, $supp\,\eta \subset k = \{0,\ldots,k-1\}$. Значит, $supp\,\xi' = \{x_0,\ldots,x_{m-1}\}$ и $supp\,\eta' \subset \subset \{x_0,\ldots,x_{k-1}\} \subset N$. Таким образом, $\eta' \in F_b(N)$. Это значит, что точка $\xi' \in F(\beta N) \setminus F_\beta(N)$ при отображении $F(f)$ переходит в точку $\eta' \in F_b(N)$, и, следовательно, согласно предложению 1, $F(f)|_{F_\beta(N)}$ не является гомеоморфизмом.

Достаточность. Пусть для любого $\xi \in F(n)$ с носителем $supp\,\xi = m \subset n$ и для любого $k \le m-2$ выполняется $supp\,F(g_k^m)(\xi) \not\subset k = \{0,\ldots,k-1\}$, при этом для некоторого тихоновского пространства X и некоторого компактного расширения bX отображение $F(f)|_{F_\beta(X)}$ – не гомеоморфизм. Тогда существует точка $\xi' \in F(\beta X) \setminus F_\beta(X)$, такая, что $\eta' = F(f)(\xi') \in \in F_b(X)$. Носитель $supp\,\xi' = \{x_0,\ldots,x_{k-1}, x_k,\ldots,x_{m-1}\}$, где $\{x_0,\ldots,x_{k-1}\} \subset X$ и $\{x_k,\ldots,x_{m-1}\} \subset \subset \beta X \setminus X$, причем $k \ge 1, m \ge 3$. Тогда $f(supp\,\xi') = \{x_0,\ldots,x_{k-1},y_1\ldots,y_l\}$, где $y_i \in bX \setminus X$, $i = 1,\ldots,l$ и $l < m-k$. Поскольку $supp\,\eta' \subset f(supp\,\xi') \cap X$, то $supp\,\eta' \subset \{x_0,\ldots,x_{k-1}\}$. Теперь рассмотрим отображения $x: m \to \beta X$, действующее по правилу $x(i) = x_i$ для $i = 0,\ldots,m-1$, и $g: \{x_0,\ldots,x_{k-1},y_1,\ldots,y_l\} \to m$, для которого $g(x_i) = i$ при $i = 0,\ldots,k-1$ и $g(y_j) = k$ при $j = 1,\ldots,l$. Пусть точка $\xi \in F(m)$ такая, что $F(x)(\xi) = \xi'$, и $\eta = F(g)(\eta')$. При этом $supp\,\xi = m = \{0,\ldots,m-1\}$, $supp\,\eta \subset k = \{0,\ldots,k-1\}$. Но $g \circ f|_{\{x_0,\ldots,x_{m-1}\}} \circ x = g_k^m$, значит, $\eta = F(g_k^m)(\xi)$, что противоречит условию $supp\,F(g_k^m)(\xi) \not\subset k$. □

Теорема 2. Всякий полунормальный функтор $F: Comp \to Comp$ со степенным спектром $sp\,F = \{1;n\}$[2] не обладает инвариантным продолжением на категорию Tych при $n \ge 4$.

Доказательство. Допустим, что $F(f)|_{F_\beta(X)}$ является гомеоморфизмом для любого тихоновского пространства X и любого bX, тогда по теореме 1 для любой точки $\xi \in F(n)$, $|supp\,\xi| = m$ и любого $k \le m-2$ выполняется условие $supp\,F(g_k^m)(\xi) \not\subset k$.

Выберем некоторую точку $\xi \in F(n)$ с $supp\,\xi = n$ и рассмотрим отображение $g_{n-2}^n: n \to n$. Положим, $\eta = F(g_{n-2}^n)(\xi)$. Получаем, что $supp\,\eta \subset g_{n-2}^n(n) = n-1$. Но $sp\,F = \{1;n\}$, следовательно, $|supp\,\eta| = 1$. По предположению, $supp\,\eta \not\subset \{0,1,\ldots,n-3\}$, следовательно, $supp\,\eta = \{n-2\}$, то есть $\eta = n-2 \in F(n)$[3]. Таким образом, все точки $\xi \in F(n)$ с n-точечным носителем переходят при отображении $F(g_{n-2}^n)$ в точку $n-2 \in F(n)$.

Возьмем отображение $h: n \to n$, действующее по правилу $h(0) = h(1) = 0$, $h(i) = i$ для $i > 1$. С помощью перестановок множества n из отображения g_{n-2}^n можно получить h. Поэтому для любой точки $\xi \in F(n)$ с $supp\,\xi = n$ верно $F(h)(\xi) = 0 \in F(n)$.

Заметим, что $g_{n-2}^n \circ h = h \circ g_{n-2}^n$. Тем не менее для любой точки $\xi \in F(n)$ с n-точечным носителем $supp\,F(g_{n-2}^n \circ h)(\xi) = \{0\}$ и $supp\,F(h \circ g_{n-2}^n)(\xi) = \{n-2\}$, что невозможно. □

Легко проверить, что любой полунормальный функтор F со степенным спектром $sp\,F = \{1;2\}$ обладает инвариантным продолжением с *Comp* на *Tych*. В случае $sp\,F = \{1;3\}$ ситуация неоднозначна: есть полунормальные функторы с инвариантным продолжением и функторы, не обладающие таким продолжением.

Согласно В. Н. Басманову [2], полунормальный функтор конечной степени полностью определен своим действием на категорию n, состоящую из единственного компакта n и всех отображений из n в n.

В работе [9] построен функтор μ со степенным спектром $sp\,\mu = \{1;3\}$[4]. Опишем действие μ на категорию 3: $\mu(3) = \{0,1,2,\xi\} \supset 3$; для каждого отображения $f: 3 \to 3$ полагаем $\mu(f)|_3 = f$; если f – биекция, то $\mu(f)(\xi) = \xi$; если f «склеивает» две точки, то $\mu(f)(\xi) = f(x)$, где $x \in 3$ и $|f^{-1}(f(x))| = 1$; если $f: 3 \to \{p\} \subset 3$ – постоянное отображение, то $\mu(f)(\xi) = p$.

Поскольку $supp\,\mu(g_1^3)(\xi) = \{0\}$, то, по теореме 1, существуют тихоновское пространство X и его компактное расширение bX, для которых отображение $\mu(f)|_{\beta(X)}$ не является гомеоморфизмом.

Второй пример – функтор λ_3 – подфунктор функтора суперрасширения λ [5; 156]. Функтор μ является в некотором смысле антиподом λ_3. Если $f:3\to 3$ «склеивает» две точки, то $\lambda_3(f)(\xi)=f(x)$, где $x\in 3$ такая, что $|f^{-1}(f(x))|=2$. В этом случае $supp\,\lambda_3(g_1^3)(\xi)=\{1\}\not\subset\{0\}$, а значит, согласно теореме 1, $\lambda_3(f)|_{(\lambda_3)_\beta(X)}$ – гомеоморфизм для любого X и любого bX.

ПРИМЕЧАНИЯ

[1] Заметим, что при $k=0=\varnothing$ условия теоремы выполняются автоматически.
[2] Определение степенного спектра см. в [4].
[3] Для любого функтора F выполнено $X\subset F(X)$, значит, $n\subset F(n)$ [7; 815].
[4] В [9] функтор μ обозначен через G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров П. С., Пасынков Б. А. Введение в теорию размерности. М.: Наука, 1973. 577 с.
2. Басманов В. Н. Ковариантные функторы конечных степеней на категории бикомпактных пространств // Фундаментальная и прикладная математика. 1996. Т. 2. № 3. С. 637–654.
3. Басманов В. Н. Ковариантные функторы, ретракты и размерность // Доклады АН СССР. 1983. Т. 271. № 5. С. 1033–1036.
4. Иванов А. В., Кашуба Е. В. О наследственной нормальности пространств вида $F(X)$ // Сибирский мат. журнал. 2008. Т. 49. № 4. С. 813–824.
5. Федорчук В. В., Филиппов В. В. Общая топология. Основные конструкции. М.: Изд-во МГУ, 1988. 250 с.
6. Чигогидзе А. Ч. О продолжении нормальных функторов // Вестник МГУ. Сер 1. Математика. Механика. 1984. № 6. С. 23–26.
7. Щепин Е. В. Функторы и несчетные степени компактов // Успехи мат. наук. 1981. 36. № 3. С. 3–62.
8. Fedorchuk V., Todorčević S. Cellularity of covariant functors // Topology and its Applications. 1997. Vol. 76. P. 125–150.
9. Ivanov A. V., Kashuba E. V., Matyushichev K. V., Stepanova E. N. Functors and compact spaces of uncountable character // Topology and its Applications. 2013. Vol. 100. I. 13. P. 1606–1610.

Kashuba E. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Stepanova E. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ON THE SEMINORMAL FUNCTORS WITH INVARIANT EXTENSION TO THE TYCH CATEGORY

Using methods of Chigogidze, we can extense a seminormal functor acting in the category Comp to the category Tych. Researching the properties of this extension, we introduce the notion of a functor having an invariant extension to the category Tych. Let F be seminormal functor acting in the category Comp and X be Tychonoff space. By $F_\beta(X)$ we denote the subspace of $F(\beta X)$ consisting of all points ξ such that $supp\,\xi\subset X$. Let bX be a compactification of X. Put $F_b(X)=\{\xi\in F(bX): supp\,\xi\subset X\}$. For the natural mapping $f:\beta X\to bX$ consider the mapping $F(f)|_{F_\beta(X)}: F_\beta(X)\to F_b(X)$. We say that the functor F has an invariant extension to the category Tych if the mapping $F(f)|_{F_\beta(X)}$ is a homeomorphism for any Tychonoff space X and its arbitrary compactification bX. We obtained the criterion of the invariant extension for a finite degree seminormal functor. We prove that any seminormal functor F with the degree spectrum $spF=\{1;n\}$ hasn't got an invariant extension for $n\geq 4$. For $n=3$ there are the examples of the functors λ_3 and μ with the degree spectrum $sp\lambda_3=sp\,\mu:=\{1;3\}$ such that λ_3 has an invariant extension, and μ has not.

Key words: seminormal functor, compactification, Chigogidze extention of functors, functor with invariant extention

REFERENCES

1. Aleksandrov P. S., Pasynkov B. A. *Vvedenie v teoriyu razmernosti* [Introduction to Dimension Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 577 p.
2. Basmanov V. N. Covariant functors of finite degree on the category of Hausdorff compact spaces [Kovariantnye funktory konechnykh stepeney na kotegorii bikompaktnykh prostranstv]. *Fundamental'naya i prikladnaya matematika* [Fundamental and applied mathematics]. 1996. Vol. 2. № 3. P. 637–654.
3. Basmanov V. N. Covariant functors, retracts, and dimension [Kovariantnye funktory, retrakty i razmernost']. *Doklady AN SSSR*. 1983. Vol. 271. № 5. P. 1033–1036.
4. Ivanov A. V., Kashuba E. V. Hereditary normality of a space of the form $F(X)$ [O nasledstvennoy normal'nosti prostranstv vida $F(X)$]. *Sibirskiy mat. zhurnal* [Siberian Mathematical Journal]. 2008. Vol. 49. № 4. P. 616–620.
5. Fedorchuk V. V., Filippov V. V. *Obshchaya topologiya. Osnovnye konstruktsii* [General Topology. Basic design]. Moscow, Moscow State Univ. Publ., 1988. 250 p.
6. Chigogidze A. Ch. Extension of normal functors [O prodolzhenii normal'nykh funktorov]. *Vestnik MGU. Ser. 1. Matematika. Mekhanika.* 1984. № 6. P. 23–26.
7. Shchepin E. V. Functors and uncountable degree of compacta [Funktory i neschetnye stepeni kompaktov]. *Uspekhi mat. nauk* [Russian Math. Surveys]. 1981. Vol. 36. № 3. P. 3–62.
8. Fedorchuk V., Todorčević S. Cellularity of covariant functors // Topology and its Applications. 1997. Vol. 76. P. 125–150.
9. Ivanov A. V., Kashuba E. V., Matyushichev K. V., Stepanova E. N. Functors and compact spaces of uncountable character // Topology and its Applications. 2013. Vol. 100. I. 13. P. 1606–1610.

Поступила в редакцию 18.06.2014

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Серия «Естественные и технические науки» включает в себя следующие рубрики, соответствующие трем отраслям наук: «Биологические науки» (03.00.00), «Медицинские науки» (14.00.00), «Физико-математические науки» (01.00.00); трем группам специальностей из отрасли «Сельскохозяйственные науки»: «Ветеринария и зоотехния» (06.02.00), «Лесное хозяйство» (06.03.00) и «Рыбное хозяйство» (06.04.00); двум группам специальностей из отрасли «Технические науки»: «Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревообработки и химической переработки биомассы дерева» (05.21.00) и «Строительство и архитектура» (05.23.00).

Статья предоставляется в распечатанном (формат А4) и электронном виде. Печатная версия статьи подписывается всеми авторами. Статья должна состоять из следующих элементов на русском языке: УДК в левом верхнем углу; сведения об авторе (имя, отчество, фамилия автора (-ов) полностью; ученая степень и звание; место работы: должность, кафедра, факультет, вуз; электронный и почтовый адреса, контактный телефон). Название статьи жирным шрифтом заглавными буквами. **Аннотация** (объем от 120 до 250 слов) является кратким резюме большей по объему работы. Аннотация может публиковаться самостоятельно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Структура аннотации должна повторять структуру статьи и включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. **Ключевые слова** – от 3 до 8 слов (или словосочетаний, несущих в тексте основную смысловую нагрузку).

Список литературы должен быть представлен в 2 вариантах:

1) на русском языке в соответствии с ГОСТ 7.1-84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления». Цитируемая в статье литература (автор, название, место, издательство, год издания и страницы (от и до или общее количество) приводится в алфавитном порядке, сначала отечественные, затем зарубежные авторы;

2) на языке оригинала латинскими буквами (References). Если русскоязычная статья была переведена на английский язык и опубликована в английской версии, то необходимо указывать ссылку из переводного источника. Библиографические описания российских публикаций составляются в следующей последовательности: авторы (транслитерация), перевод названия статьи на английский язык, название статьи в транслитерированном варианте в квадратных скобках, название источника (транслитерация, курсив), выходные данные с обозначениями на английском языке.

В тексте статьи ссылка дается в квадратных скобках, через точку с запятой – цитируемая страница, если это необходимо. Примечания, сокращения, архивные и другие источники – в виде концевых сносок после статьи.

На **английский язык** необходимо перевести ФИО автора (-ов), место работы, город, страну; название статьи, аннотацию и ключевые слова и разместить их после списка литературы перед References.

Таблицы – каждая печатается на отдельной странице, нумеруется соответственно первому упоминанию ее в тексте и снабжается заголовком. Таблицы предоставляются в текстовом редакторе Microsoft Word (формат .doc). **Иллюстрации** (рисунки, фотографии, схемы, диаграммы) нумеруются, снабжаются подписями и предоставляются в виде отдельных растровых файлов (в формате .tif, .bmp). В тексте статьи указывается место таблицы или рисунка. Таблиц и иллюстраций не должно быть более **5**. Растровые форматы: рисунки и фотографии должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, градации серого. Векторные форматы: рисунки должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. **Графики и диаграммы** должны быть созданы в табличном процессоре Exel и присылаться вместе с исходными численными данными в одном файле с расширением xls. При создании графиков использовать черный, белый цвета и градации серого, избегать применения трехмерной графики, градиентных заливок и т. д. Все надписи и числа на графиках желательно делать, используя «жирный» шрифт ArialCyr, размер 14. На самом графике не должно быть названия, оно должно быть отражено в подрисуночной подписи. **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation (присутствует в составе Word) или символьным шрифтом (надстрочные и подстрочные символы, меню «Вставка», «Символ»). Вставки формул в виде картинок любого формата не принимаются.

Более подробная информация для авторов дана на сайте журнала: **uchzap.petrsu.ru**.

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

Ivanter E. V., Kurkhinen Yu. P., Moiseeva E. A.
SOREX ARANEUS (L.) UNDER THE ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION OF THE EASTERN FENNOSCANDIA TAIGA FORESTS **7**

Guseva T. L., Korosov A. V., Bespyatova L. A., Anikanova V. S.
LONG-TERM DYNAMICS OF BIOTOPICAL DISTRIBUTION OF A COMMON SHREW (SOREX ARANEUS, LINNAEUS 1758) IN KARELIAN MOSAIC LANDSCAPE **13**

Morozova K. V., Gulyaeva E. N., Markovskaya E. F.
ANATOMIC AND MORPHOLOGICAL DESCRIPTION OF THE SEA ASTER LEAVES (*ASTER TRIPOLIUM* L.) ON THE WHITE SEA COAST . . **21**

Ignatenko R. V., Tarasova V. N.,
STATE OF THE POPULATION (LOBARIA PULMONARIA (L.) HOFFM.) IN THE PLANT COMMUNITIES OF THE PETROZAVODSK CITY DISTRICT **26**

Boychuk M. A.,
MOSSES OF THE CITY OF PETROZAVODSK (BASED ON THE DATA FROM THE BOTANIC GARDEN AND HERBARIUM (H) OF THE UNIVERSITY OF HELSINKI). **31**

MEDICAL SCIENCES

Akhmetov V. V., Dudanov I. P., Azieva A. Z., Abuazab B. S. A., Teremovskiy N. Yu., Zavalishin S. V., Matyushechkin I. V., Stafeeva I. V.
SONOGRAPHIC AND ANGIOSCOPIC CHARACTERISTICS OF ATHEROSCLEROTIC LESIONS OF THE CAROTID ARTERIES IN PATIENTS WITH TRANSIENT ISCHEMIC ATTACKS **36**

Antonen E. G., Hyanikyaynen I. V., Kirsan' S. A., Ancheeva E. G.
CLINICAL PROFILE OF PARKINSON'S DISEASE IN THE REPUBLIC OF KARELIA **41**

Lozovik I. P., Mel'tser R. I., Barakat M. F.
AN ALGORITHM DESIGN FOR SOLVING PROBLEMS BY THE FINITE ELEMENT METHOD TO CREATE THE "BONE – FIXATOR" MATHEMATICAL MODEL. **48**

Nikiforova N. A., Karapetyan T. A., Dorshakova N. V.
ASSESSMENT OF PEPTIC ULCER DISEASE INCIDENCE IN POPULATION OF KARELIAN REPUBLIC **51**

Vasendin D. V.
STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHANGES IN THE LIVER WITH OBESITY (LITERATURE REVIEW) **57**

AGRICULTURAL SCIENCES

Ivanov N. I., Evstratova L. P., Nikolaeva E. V.
REVISITING THE SYSTAINABLE UTILIZATION OF CROPLANDS IN THEPRIVATE FARMS . . . **63**

ENGINEERING SCIENCES

Pitukhin A. V., Skobtsov I. G.
RELIABILITY EVALUATION OF THE ROPS SYSTEMS FOR THEHARVESTING MACHINES WITH THE APPLICATION OF THE CUSP CATASTROPHE **68**

Markov V. I.
REGULARITIES PROCESS OF THE WASTE WOOD DESTRUCTION **73**

Stepanov A. V., Petrov A. N.
ANALYSIS OF THE WOOD-TRANSPORT ROADS' NETWORK IN THE REPUBLIC OF KARELIA **78**

Chernyaev L. A., Gavrilov T. A.
EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF FLUID TURBULIZATION ON THE PARAMETERS OF THE HEAT EXCHANGER **82**

Grishina I. E., Kisternaya M. V., Kozlov V. A.
OVERALL CRONOLOGICAL ATTRIBUTION OF A CHAPEL IN ZAONEZHYE VILLAGE OF POD''YEL'NIKI. **86**

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

Dzlieva E. S., Ermolenko M. A., Karasev V. Yu., Novikov L. A., Pavlov S. I., Polishchuk V. A., Eykhval'd A. I.
ABOUT APPLICATIONS OF THE DUST GRANULES LEVITATION **91**

Mol'kov S. I.
DIFFRACTION LOSSES AND POWER DISTRIBUTION IN A GAS-DISCHARGE LASER OVER TRANSVERSE MODES **97**

Derbeneva O. Yu., Marakhtanov A. G., Nasadkina O. Yu., Pechnikov A. A.
REVISITING THE WEB SPACE MODULARITY OF AN EDUCATIONAL INSTITUTION **104**

Koshkarov A. L.
ON A GENERAL RELATIVITY EXTENSION **109**

Gippiev M. B., Rogov A. A.
CLASSIFICATION OF SYMBOLS IN SHORTHAND DOCUMENTS: BASIC, SUPERSCRIPT AND SUBSCRIPT **115**

Kashuba E. V., Stepanova E. N.
ON THE SEMINORMAL FUNCTORS WITH INVARIANT EXTENSION TO THE TYCH CATEGORY **119**

Info for the authors **123**