
Министерство образования и науки
Российской Федерации

Научный журнал
УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ
ПЕТРОЗАВОДСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА
(продолжение журнала 1947–1975 гг.)

№ 8 (145). Т. 1. 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

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)

Ministry of Education and Science
of the Russian Federation

Scientific Journal
PROCEEDINGS
OF PETROZAVODSK
STATE UNIVERSITY
(following up 1947–1975)

№ 8 (145). Vol. 1. 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

Editorial Council

- | | |
|--|--|
| <p style="text-align: center;">V. BOLSHAKOV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Ekaterinburg)</p> <p style="text-align: center;">I. DUDANOV
Doctor of Medical Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">V. ZAKHAROV
Doctor of Philological Sciences, Professor (Moscow)</p> <p style="text-align: center;">Y. INOUE
Professor (Tokyo, Japan)</p> <p style="text-align: center;">A. ISAYEV
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Member (Moscow)</p> <p style="text-align: center;">M. VOCHOZKA
Doctor of Economic Sciences
(Ceske Budejovice, Czech Republic)</p> <p style="text-align: center;">V. LEVIN
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Mexico, Mexico)</p> <p style="text-align: center;">T. LÖNNGREN
Doctor of Philosophy (Tromsø, Norway)</p> <p style="text-align: center;">V. MAEVSKIY
Doctor of Economic Sciences, Professor (Moscow)</p> <p style="text-align: center;">N. MEL'NIKOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor, the RAS Member (Apatity)</p> | <p style="text-align: center;">I. MULLONEN
Doctor of Philological Sciences, Professor (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">V. ORPHINSKY
Doctor of Architecture, Professor,
Full Member of Russian Academy of Architectural Sciences
(Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">P. PELKONEN
Doctor of Technical Sciences,
Professor (Joensuu, Finland)</p> <p style="text-align: center;">I. ROMANOVSKY
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (St. Petersburg)</p> <p style="text-align: center;">E. SENYAVSKAYA
Doctor of Historical Sciences,
Professor (Moscow)</p> <p style="text-align: center;">K. SKWARSKA
Doctor of Philosophy
(Praha, Czech Republic)</p> <p style="text-align: center;">A. TITOV
Doctor of Biological Sciences, Professor,
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">R. YUSUPOV
Doctor of Technical Sciences, Professor, the RAS
Corresponding Member (St. Petersburg)</p> |
|--|--|

Editorial Board of the Series
“Natural & Engineering Sciences”

- | | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">O. BARYSHEVA
Doctor of Medical Sciences
(Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">A. BOLGOV
Doctor of Agricultural Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">V. VAPIROV
Doctor of Chemistry,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">T. VOLKOVA
Doctor of Biological Sciences (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">E. MARKOVSKAYA
Doctor of Biological Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">A. MEYGAL
Doctor of Medical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> | <p style="text-align: center;">N. NEMOVA
Doctor of Biological Sciences,
Professor, the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">E. RAT'KOVA
Candidate of Technical Sciences,
Series Executive Secretary (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">A. ROGOV
Doctor of Technical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">G. STEFANOVICH
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">V. SYSUN
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> <p style="text-align: center;">V. SHCHIPTSOV
Doctor of Geological-Mineralogical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)</p> |
|---|--|

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Немова Н. Н., Кяйвярайнен Е. И.,
Нефедова З. А., Веселов А. Е.
Кальцийзависимые протеиназы (кальпаины) у сеголеток (0+) атлантического лосося *Salmo salar* L. из двух биотопов реки Варзуга . . . 7

Лебедева Н. Ш., Малькова Е. А.,
Губарев Ю. А., Вьюгин А. И.
Состояние бычьего сывороточного альбумина в растворах в зависимости от концентрации диметилформамида 12

Рыжков Л. П., Дзюбук И. М.
Биология сига-лудоги юго-западной части Онежского озера 16

Туманов И. Л.
Японский колонок на Сахалине 21

Париуков А. Н., Сидорова Н. А.
Микробиоценоз радужной форели в садковых хозяйствах Северной Карелии 28

Пилипко Е. Н.
Влияние роющей деятельности кабана *Sus scrofa* (L.) на физико-химические параметры почвы ельника кисличного 34

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

Стафеева И. В., Субботина Н. С., Дуданов И. П.
Состояние биоэлектрической активности мозга после каротидной эндартерэктомии в раннем восстановительном периоде ишемического инсульта 40

Степанова Е. М., Луговая Е. А., Виноградова И. А.
Элементный «портрет» студенческой молодежи северных регионов России 44

Соловьева Н. В.
Механизмы нарушений функций печени и микробиоценоза толстой кишки при хронических вирусных гепатитах В и С и их пробиотическая коррекция 52

Усенко Г. А., Демин А. А., Усенко А. Г., Васендин Д. В.
Особенности ремоделирования сосудистой стенки у больных артериальной гипертензией с различным темпераментом и уровнем тревожности 59

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Ткаченко Ю. Н.
Особенности гранулометрического состава автоморфных почв северо- и среднетаежной подзон Карелии 65

Сунгурова Н. Р., Сунгуров Р. В., Гаевский Н. П.
Анализ эффективности искусственного лесовосстановления и предложения по его улучшению 71

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Орфинский В. П.
Феномен Преображенской церкви Кижского погоста 77

Борисов А. Ю.
Древесина осины как материал для устройства кровли 87

Тихонов И. И., Якушева Т. В.
Технология лесопользования с постоянством дорожно-транспортной схемы освоения лесосек 91

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Журкин Д. В., Рабинович А. Л.
Изучение геометрических, термодинамических свойств и гибкости углеводородных молекул методом Монте-Карло 96

Романов В. В., Нижник Я. П., Фофанов А. Д.
Конформационный анализ катионов семисолей гетероароматических N-оксидов 104

Левин В. М.
К решению задачи об изолированной неоднородности в пористой среде с электрокинетическими свойствами 108

Андреева Е. А., Мазурова И. С.
Численные методы обучения искусственной нейронной сети 111

Хворостянская Е. В.
Предельные распределения числа деревьев заданного объема в лесе Гальтона–Ватсона с ограниченным числом вершин 115

Рецензии

Лойтер С. М.
Рец. на кн.: Зильбер А. П. Врачи-труэнты: Очерки о врачах, прославившихся вне медицины 119

Память

Памяти Л. П. Рыжкова 122

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН

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.petrstu.ru/files/reg.pdf>**

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

Редактор С. Л. Смирнова. Корректор И. Н. Дьячкова. Переводчик Н. К. Дмитриева. Верстка С. П. Иванова

Подписано в печать 10.12.2014. Формат 60×90^{1/8}. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 150 экз.). Изд. № 488

Индекс 66093. Цена свободная.

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

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

НИНА НИКОЛАЕВНА НЕМОВА

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой молекулярной биологии и органической и биологической химии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет, директор, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

nemova@krc.karelia.ru

ЕЛЕНА ИВАНОВНА КЯЙВЯРЯЙНЕН

кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

hela_kaiv@mail.ru

ЗИНАИДА АНАТОЛЬЕВНА НЕФЕДОВА

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

znefed@krc.karelia.ru

АЛЕКСЕЙ ЕЛПИДИФОРОВИЧ ВЕСЕЛОВ

доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

veselov@krc.karelia.ru

КАЛЬЦИЙЗАВИСИМЫЕ ПРОТЕИНАЗЫ (КАЛЬПАИНЫ) У СЕГОЛЕТОК (0+) АТЛАНТИЧЕСКОГО ЛОСОСЯ *SALMO SALAR* L. ИЗ ДВУХ БИОТОПОВ РЕКИ ВАРЗУГА*

Этап постэмбрионального развития атлантического лосося, происходящий в главном русле реки Варзуга (одной из крупных рек бассейна Белого моря), сопровождается расселением и нагулом молоди в различных биотопах. Часть сеголеток одной генерации остается недалеко от нерестовых гнезд – в главном русле реки Варзуга, у порога Ареньга, а другая часть перемещается с нерестовых участков в малые притоки с развитой кормовой базой, в частности в одноименный приток – в устье реки Ареньга. Последующее их созревание и развитие зависят от комплекса генетических, биохимических и экологических факторов. В настоящей работе у сеголеток атлантического лосося, расселившихся после выклева и выхода из нерестовых гнезд в главном русле и в притоке (Ареньге) реки Варзуга, исследовали активность кальцийзависимых протеиназ цитозоля (кальпаинов), вносящих значительный вклад во внутриклеточный протеолиз и регуляцию физиолого-биохимических процессов в клетке. Обнаружены различия в активности кальпаинов у сеголеток атлантического лосося из разных по гидрологическим, трофическим, экологическим условиям биотопов реки Варзуга бассейна Белого моря. Данные по активности кальпаинов сравнивали с результатами анализа липидного статуса, полученными ранее для сеголеток атлантического лосося из этих же биотопов.

Ключевые слова: внутриклеточный Ca^{2+} -зависимый протеолиз, липидный статус, молодь атлантического лосося, ранний постэмбриогенез

Воспроизводство крупнейшего в России стада проходных рыб (атлантического лосося) происходит в реках Кольского полуострова (бассейн Белого моря). К одной из важнейших нерестовых рек со значительной площадью нерестово-выростных участков относится река Варзуга [4]. Этап постэмбриогенеза атлантического лосося, происходящий в главном русле реки Варзуга, сопровождается расселением и нагулом молоди при прогревании воды до 12–13 °С по различным биотопам на площади, значительно превышающей нерестовую. Часть сеголеток одной генерации остается недалеко от нерестовых гнезд – в главном русле реки Варзуга, у порога Ареньга, а другая часть перемещается с нерестовых участков

в малые притоки с развитой кормовой базой [2], [3], в частности в одноименный приток – в устье реки Ареньга. Известно, что для молоди атлантического лосося важными абиотическими составляющими заселяемых ими биотопов являются рельеф дна, глубина, скорость течения и фракционный состав грунта [3]. К не менее важным факторам относятся пища и температура воды. Выбор местообитания молодь лососевых рыб после выклева и последующее ее развитие зависят от комплекса генетических, биохимических и экологических факторов.

В настоящей работе изучали биохимические показатели у сеголеток атлантического лосося, распределившихся по биотопам с различным

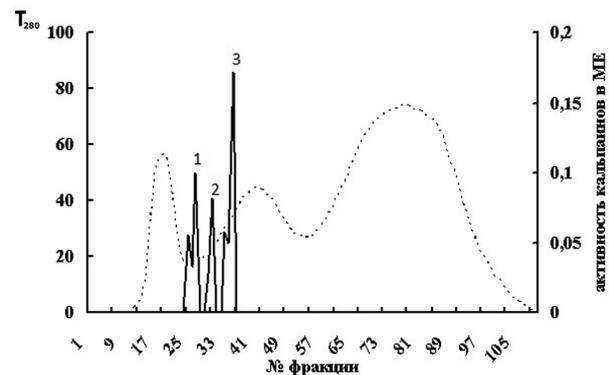
гидрологическим режимом, температурой и трофикой после выклева в главном русле реки Варзуга у порога Ареньга. У мальков исследовали активность кальцийзависимых протеиназ цитозоля (кальпаинов), различающихся чувствительностью к кальцию и вносящих значительный вклад во внутриклеточный протеолиз и регуляцию физиолого-биохимических процессов в клетке, таких как сигнальная трансдукция и клеточный морфогенез, дифференцировка, экспрессия генов, апоптоз и др. [1], [7], [16]. Регуляторами активности кальпаинов, наряду с ионами кальция, тиоловыми группами, эндогенным ингибитором кальпастатином, являются также некоторые липиды [1]. Известно, что метаболит мембранного фосфатидилинозитола (ФИ) – вторичный мессенджер инозитолтрифосфат и арахидоновая кислота (АК) влияют на концентрацию внутриклеточного кальция [10]. Уровень цитоплазматического кальция зависит от активности кальциевых каналов и от проницаемости мембранного фосфолипидного бислоя, то есть от структурно-динамического состояния биомембран. Микровязкость плазматических мембран, в значительной степени обусловленная соотношением насыщенных и ненасыщенных жирных кислот (НЖК/ПНЖК), может модулировать активность кальпаинов. Учитывая вышесказанное, в работе проанализировали взаимосвязь полученных данных об активности кальпаинов у сеголеток атлантического лосося и некоторых показателей их липидного статуса, изученных ранее [8], [13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сеголетки лосося были отловлены в августе и октябре с помощью аппарата электролова в «прибрежном» биотопе у порога главного русла реки Варзуга (66°32'42" с. ш., 36°12'03" в. д.) и в устье притока Ареньга – «притоковом» биотопе (300 м от основного устья реки). Были взяты сборные пробы от 8–10 сеголеток лосося, в связи с тем, что для проведения хроматографического разделения и последующего определения активности кальпаинов требовалась сравнительно большая навеска (более 5 г).

Активность кальпаинов определяли после предварительной гель-хроматографии образцов на колонках (2,5 × 95 см) с гелем Sephacryl S-300 (Pharmacia), уравновешенным буфером А (10 мМ Трис-НСI, содержащим 50 мМ NaCl, 4 мМ ЭДТА, 5 мМ меркаптоэтанол, рН 7,5). Хроматографическое разделение образцов позволяет отделить специфический белковый ингибитор кальпаинов – кальпастин, а также фракционировать индивидуальные молекулярные формы фермента. Разделение проводили в холодильной камере при 4 °С на стандартной аппаратуре «LKB-Pharmacia». Фракции регистрировали на абсорбциометре «Uvicord II» при 280 нм. Во фракциях элюента объемом 4 мл определяли активность

Ca²⁺-активируемых протеиназ стандартным методом по гидролизу казеина [12]. Реакционная смесь для определения активности кальпаинов общим объемом 2,5 мл включала 0,4 % казеин, 5 мМ дитиотреитола, 50 мМ имидазол-НСI буфер рН 7,5 и ферментный раствор. Инкубация опытных проб происходила в присутствии раствора CaCl₂ (в микро- и миллимолярных концентрациях), в контрольные пробы кальций добавляли после инкубации. После 30 минут инкубации (30 °С) реакцию останавливали добавлением равного объема 10 % ТХУ. Концентрацию кислоторастворимых продуктов гидролиза определяли спектрофотометрически (E₂₈₀). Единицу активности кальпаинов определяли как изменение оптической плотности (E₂₈₀) за 30 минут инкубации (30 °С) и принимали за 1 МЕ. В гомогенатах сеголеток лосося обнаружены три белковые фракции, проявляющие Ca²⁺-зависимую протеолитическую активность и различающиеся чувствительностью к кальцию (рисунок). Кальпаины рыб с микро- и миллимолярной чувствительностью к кальцию могут быть идентифицированы как гомологи μ -кальпаина и m -кальпаина млекопитающих соответственно, а низкомолекулярный компонент представляет собой каталитически активную субъединицу вышеуказанных кальпаинов [15].



Профиль распределения водорастворимых белков (---), Ca²⁺-активируемой активности (—) в сеголетках атлантического лосося *Salmo salar* L.

1 – μ -кальпаин, 2 – m -кальпаин, 3 – каталитически активная субъединица кальпаинов, T₂₈₀ – поглощение белка, МЕ – международные единицы активности фермента

Экспериментальные работы выполнены с использованием оборудования ЦКП Института биологии КарНЦ РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные об активности кальпаинов, наряду со значениями уровня их липидных регуляторов и размерно-весовыми характеристиками сеголеток из двух исследуемых биотопов, представлены в обобщающей таблице. Показано, что и в августе, и в октябре сеголетки из «притокового» биотопа имели больший вес и размер по сравнению

с молодью из «прибрежного» микробиотопа. Среднее значение веса (морфологический параметр) сохранялось, а средняя длина возрастала (размерная характеристика) у исследуемых сеголеток из «притокового» биотопа (Аренгское устье) за период с августа по октябрь. В «прибрежном» биотопе (Аренгский порог) также наблюдалась стабилизация меньшего значения веса сеголеток, а их длина незначительно увеличивалась. Известно, что в притоке Аренга (устье) кормовая база для сеголеток значительно лучше развита, чем в русле реки («прибрежный» биотоп), главным образом, за счет более мелких и многочисленных бентосных организмов [2], доступных для мальков после выклева. Содержание водорастворимого белка в личинках из устья реки Аренга было выше и увеличивалось с августа по октябрь по сравнению с таковыми из главного русла реки Варзуга. У личинок атлантического лосося, выловленных в устье реки Аренга, в период с августа по октябрь происходит почти двукратное увеличение суммарной активности кальпаинов, а у сеголеток из прибрежного биотопа активность исследуемых протеиназ за тот же период не изменяется и остается на достаточно высоком уровне. Таким образом, в период с августа по октябрь у сеголеток из «притокового» биотопа реки Аренга наблюдалось увеличение содержания белка и активности кальпаинов, что может свидетельствовать об активации кальцийзависимого протеолиза в развивающемся организме рыб на ранних стадиях онтогенеза в условиях более благоприятного температурного и кормового режима. У сеголеток аналогичного возраста из «прибрежного» биотопа, находящихся в условиях более скудной кормовой базы, в тот же период времени (с августа по октябрь) наблюдаются стабильно невысокие значения весовых

характеристик, более низкое содержание белка и суммарной активности Ca^{2+} -активируемых протеиназ.

Ранее было выявлено [8], что и некоторые показатели липидного метаболизма сеголеток из «притокового» микробиотопа были достоверно выше по сравнению с «прибрежными» мальками лосося (таблица). Активация кальпаинов, связанная с их аутолизом, происходит в примембранном слое при взаимодействии с фосфолипидами плазматических мембран (фосфатидилсерин (ФС) и ФИ), при этом гидролиз последних приводит к открыванию кальциевых каналов плазматической мембраны [11] и поступлению внеклеточного Ca^{2+} в цитоплазму, а также к высвобождению Ca^{2+} из внутренних кальциевых депо и, как следствие, к росту концентрации внутриклеточного кальция [14]. Содержание ФИ у сеголеток из исследуемых биотопов реки Варзуга значительно выше в августе, чем в октябре. У сеголеток, отловленных в октябре, содержание ФИ не зависит от биотопа, что может косвенно указывать на его активное участие в процессах роста и развития мальков в летне-осенний период. Несмотря на то что в августе различий в активности m-кальпаина у сеголеток из разных биотопов не обнаружено, в октябре в «притоковом» биотопе его активность выше примерно на 70 %. Прослеживается определенная связь в изменении суммарной активности кальпаинов в процессе роста сеголеток с августа до октября с показателем соотношения НЖК/ПНЖК, который снижается на 10–20 %, что указывает на снижение микровязкости липидного бислоя и, соответственно, на повышение его проницаемости для ионов. Сходная тенденция прослеживалась и при сравнении активности кальпаинов и уровня арахидоновой кислоты $\text{C}_{20:4}$ в период с августа по октябрь. Известно,

Размерно-весовые показатели, активность кальпаинов и содержание липидных компонентов (в процентах от сухой массы) у сеголеток атлантического лосося из различных фенотипических группировок реки Варзуга в летне-осенний период

Показатели	Микробиотопы, дата вылова (месяц)			
	«Притоковый»		«Прибрежный»	
	Август	Октябрь	Август	Октябрь
Масса тела, г	0,84 ± 0,04	0,83 ± 0,06	0,68 ± 0,03	0,66 ± 0,05
Длина тела, см	4,48 ± 0,09	4,69 ± 0,12	4,21 ± 0,07	4,30 ± 0,08
Концентрация (мг/мл) водорастворимого белка	23,70 ± 0,5	28,50 ± 0,7	17,20 ± 0,4	18,30 ± 0,4
Активность кальпаина I	0,31	0,41	0,25	0,25
Активность кальпаина II	0,20	0,34	0,20	0,20
Субъединичная активность	0,32	0,78	0,33	0,37
Суммарная активность кальпаинов	0,82	1,52	0,78	0,82
Триацилглицерины*	10,13 ± 0,5	7,57 ± 0,7	9,00 ± 0,54	4,96 ± 0,6
НЖК	31,9 ± 7,5	27,0 ± 0,7	31,6 ± 0,7	27,8 ± 0,8
ПНЖК	39,3 ± 1,2	42,4 ± 1,3	40,8 ± 1,2	45,1 ± 1,3
Соотношение НЖК/ПНЖК	0,81	0,64	0,77	0,62
Фосфатидилинозитол*	0,42 ± 0,06	0,06 ± 0,01	0,24 ± 0,04	0,06 ± 0,01
Арахидоновая кислота*	1,50 ± 0,20	2,30 ± 0,50	1,70 ± 0,20	3,10 ± 0,90

* Данные из [8].

что АК, являющаяся метаболитом незаменимой линолевой кислоты $C_{18:2n-6}$, отвечает за повышение внутриклеточной концентрации Ca^{2+} в разных типах клеток [9], [17]. Такой кумулятивный эффект может влиять на рост концентрации внутриклеточного кальция и, соответственно, на избыточную активацию кальпаинов. Ранее сходные взаимосвязи активности кальпаинов с содержанием липидных компонентов мембран были обнаружены у мидии *Mytilus edulis* L., акклиматизированной в условиях различной солености среды [6] и накопления тяжелых металлов (Cd^{2+} и Cu^{2+}) [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У сеголеток, обитающих в «притоковом», более «благополучном» по рельефу, трофике и температуре биотопе, в период с августа по октябрь происходит двукратный прирост активности кальпаинов, важнейших регуляторных ферментов внутриклеточного белкового метаболизма,

необходимых для процессов развития молоди. У сеголеток из «прибрежного» биотопа активность кальпаинов остается на прежнем уровне, что может в определенной степени затормозить рост и развитие молоди, соответственно, повлиять на последующие этапы развития и вызвать задержку сроков смолтификации. У сеголеток из обоих исследуемых биотопов реки Варзуга обнаружена взаимосвязь в изменении активности кальпаинов и некоторых показателей липидного статуса. Можно полагать, что фосфатидилинозитол, арахидоновая кислота, а также состояние насыщенности/ненасыщенности жирных кислот косвенно влияют на активацию кальцийзависимого протеолиза через изменение микровязкости мембраны, открытие ионных каналов для поступления в клетку кальция. Для того чтобы подтвердить эти предположения, в дальнейшем будет исследована молодь лосося старших возрастных групп из разных биотопов реки Варзуга.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по проекту № 14–24–00102: «Лососевые рыбы Северо-Запада России: эколого-биохимические механизмы раннего развития».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарева Л. А., Немова Н. Н., Кяйвярайнен Е. И. Внутриклеточная Ca^{2+} -зависимая протеолитическая система животных. М.: Наука, 2006. 294 с.
2. Барышев И. А., Веселов А. Е., Зубченко А. В., Калюжин С. М. Кормовая база атлантического лосося в бассейне реки Варзуга // Биология, воспроизводство и состояние запасов анадромных и пресноводных рыб Кольского полуострова. М.: ПИНРО, 2005. С. 7–13.
3. Веселов А. Е., Калюжин С. М. Экология, поведение и распределение молоди атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия, 2001. 160 с.
4. Казаков Р. В., Кузьмин О. Г., Шустов Ю. А., Щуров И. Л. Атлантический лосось реки Варзуги. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 108 с.
5. Канцерова Н. П., Фокина Н. Н., Лысенко Л. А., Немова Н. Н. Взаимосвязь активности Ca^{2+} -зависимых протеиназ с содержанием липидных компонентов мембран в органах мидий, *Mytilus edulis*, при накоплении тяжелых металлов // Биоорганическая химия. 2012. Т. 38. № 1. С. 86–91.
6. Кяйвярайнен Е. И., Нефедова З. А., Бондарева Л. А., Алексеева Н. Н., Немова Н. Н. Корреляция активности внутриклеточных Ca^{2+} -активируемых протеиназ и содержания холестерина в мембранах мидий (*Mytilus edulis*) Белого моря при изменении солености среды // Бюлл. экспериментальной биологии и медицины. 2005. Т. 140. № 10. С. 457–460.
7. Лысенко Л. А., Немова Н. Н., Канцерова Н. П. Протеолитическая регуляция биологических процессов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 480 с.
8. Павлов Д. С., Нефедова З. А., Веселов А. Е., Немова Н. Н., Руоколайнен Т. Р., Васильева О. Б., Рипатти П. О. Липидный статус сеголеток атлантического лосося из разных микробиотопов реки Варзуга // Вопросы ихтиологии. 2008. Т. 48. № 5. С. 679–685.
9. Сергеева М. Г., Варфоломеева А. Т. Каскад арахидоновой кислоты. М.: Народное образование, 2006. 256 с.
10. Ткачук В. А. Фосфоинозитидный обмен и осцилляция ионов Ca^{2+} // Биохимия. 1998. Т. 63. № 1. С. 47–56.
11. Mitchell R. H. Inositol phospholipids and cell surface. Receptor function // Biochem. Biophys. Acta. 1975. Vol. 415. P. 81–147.
12. Murachi T., Hatanaka M., Yasumoto Y., Tanaka K. A quantitative distribution study on calpain and calpastatin in rat tissues and cells // Biochem. Int. 1981. Vol. 2. № 6. P. 651–656.
13. Murzina S. A., Nefedova Z. A., Veselov A. E., Ripatti P. O., Nemoval N. N., Pavlov D. S. Changes in fatty acid composition during embryogenesis and in young age groups (0+) of Atlantic salmon *Salmo salar* L. The role of rheotactic behavior and lipid composition of fry in the formation of phenotypic groups of salmon in large Arctic rivers // Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economic importance / Patrick T. K. Woo, Donald J. Noakes (Eds.). NY: Nova Science Publishers, 2014. P. 47–67.
14. Putney J. W. A model for receptor-regulated calcium entry // Cell Calcium. 1986. Vol. 7. P. 1–12.
15. Sorimachi H., Imajoh-Ohmi S., Emory Y. et al. Molecular cloning of a novel mammalian calcium-dependent protease from both m- and μ -types. Specific expression of the mRNA in skeletal muscle // J. Biol. Chem. 1989. Vol. 264. P. 20106–20111.
16. Sorimachi H., Hata S., Ono Y. Calpain chronicle – an enzyme family under multidisciplinary characterization // Proc. Jpn. Acad. 2011. № 6. B 87. P. 287–326.
17. Tohmatsu T., Nakashima Sh., Nozawa Y. Evidence of Ca^{2+} mobilizing action of arachidonic acid in human platelets // Biochim. et biophys. Acta. 1989. Vol. 1012. P. 97–1022.

Nemova N. N., Petrozavodsk State University, Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

Kyayvyaryaynen E. I., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

Nefedova Z. A., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

Veselov A. E., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

CALCIUM-DEPENDENT PROTEASES (CALPAINS) IN FINGERLINGS (0+) OF ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR* L.) FROM TWO BIOTOPES OF VARZUGA RIVER

The stage of post-embryonic development in Atlantic salmon, occurring in the main stream of the Varzuga River (one of the major rivers in the basin of the White Sea), includes periods of resettlement and feeding of young fish on different biotopes. Some juveniles of the same generation aggregate close to the spawning nests – in the main channel of the Varzuga River, the Arenga threshold. The other part of young fish moves out from the nests and settles in small tributaries with favorable food supply, particularly in the inflow of the Arenga River – in the mouth of the river. Subsequent maturation and development of the young fish depend on a complex of genetic, biochemical and environmental factors. In the present study, the activity of calcium-dependent proteases of cytosol (calpain), which contributed to the significant intracellular proteolysis and regulation of physiological and biochemical processes in the cell, were investigated. The studied Atlantic salmon fingerlings after hatching from spawning nests moved into the mainstream and tributaries (the Arenga River) of the Varzuga River. The differences in studied enzymes activities in the fingerlings of Atlantic salmon from different microbiotopes of the Varzuga River (the White Sea basin) distinguished by hydrological, feeding, and ecological conditions were found. The calpain activities were compared with certain lipid parameters obtained in previous studies for the young fish of the Atlantic salmon distributed to the same biotopes of the river.

Key words: Intracellular Ca-dependent proteolysis, lipid status, youngs of Atlantic salmon *Salmo salar* L., early post-embryonic period

REFERENCES

- Bondareva L. A., Nemova N. N., Kyayvyaryaynen E. I. *Vnutrikletchnaya Ca²⁺-zavisimaya sistema zhi-votnykh* [Intracellular Ca²⁺-dependent proteolytic system in animals]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 294 p.
- Baryshev I. A., Veselov A. E., Zubchenko A. V., Kalyuzhin S. M. Forage reserve of the Atlantic salmon in the basin of river Varzuga [Kormovaya baza atlanticheskogo lososya v bassejne reki Varzuga]. *Biologiya, vosпроизводство i sostoyanie zapasov anadromnykh i presnovodnykh ryb Kol'skogo poluostrova* [Biology, reproduction and the state of stocks of anadromous and freshwater fishes of the Kola Peninsula]. Murmansk, PINRO Publ., 2005. P. 7–13.
- Veselov A. E., Kalyuzhin S. M. *Ekologiya, povedenie i raspredelenie molodi atlanticheskogo lososya* [Ecology, behaviour and distribution of the Atlantic salmon fingerlings]. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 2001. 160 p.
- Kazakov R. V., Kuz'min O. G., Shustov Yu. A., Shchurov I. L. *Atlanticheskii losos' reki Varzuga* [Atlantic salmon of the river Varzuga]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992. 108 p.
- Kantserova N. P., Fokina N. N., Lysenko L. A., Nemova N. N. Interrelation of Ca²⁺-dependent proteinase activity with the maintenance of the lipid components of membranes in the organs of mussels, *Mytilus edulis*, at accumulation of heavy metals [Vzaimosvyaz' aktivnosti Ca²⁺-zavisimykh proteinaz s sodержaniem lipidnykh komponentov membran v organakh midiy, *Mytilus edulis*, pri nakoplenii tyazhelykh metallov]. *Bioorganicheskaya khimiya* [Bioorganic chemistry]. 2012. Vol. 38. № 1. P. 86–91.
- Kyayvyaryaynen E. I., Nefedova Z. A., Bondareva L. A., Alekseeva N. N., Nemova N. N. Correlation of intracellular Ca²⁺-activated proteinase activity and maintenance of cholesterol in membranes of mussels (*Mytilus edulis*) from the White sea under the changes of environmental salinity [Korrelyatsiya aktivnosti vnutrikletchnykh Ca²⁺-aktiviruemykh proteinaz i sodержaniya kholesterina v membranakh midiy (*Mytilus edulis*) Belogo moray pri izmenenii solenosti sredy]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny* [The bulletin of experimental biology and medicine]. 2005. Vol. 140. № 10. P. 457–460.
- Lysenko L. A., Nemova N. N., Kantserova N. P. *Proteoliticheskaya regulyatsiya biologicheskikh protsessov* [Proteolytic regulation of biological processes]. Petrozavodsk, KRC RAS Publ., 2011. 480 p.
- Pavlov D. S., Nefedova Z. A., Veselov A. E., Nemova N. N., Ruokolaynen T. R., Vasil'eva O. B., Ripatti P. O. Lipid status of the Atlantic salmon fingerlings of the year *Salmo salar* from the different microbiotops of the river Varzuga [Lipidnyy status segoletok atlanticheskogo lososya iz raznykh mikrobiotopov reki Varzuga]. *Voprosy ikhtiologii* [Questions of the ichthyology]. 2008. Vol. 48. № 5. P. 679–685.
- Sergeeva M. G., Varfolomeeva A. T. *Kaskad arakhidonovoy kisloty* [The cascade of arachidonic acid]. Moscow, Narodnoe obrazovanie Publ., 2006. 256 p.
- Tkachuk V. A. Change of phosphoinositids and oscillation of Ca²⁺ ions [Fosfoinozitudnyy obmen i ostsillyatsiya ionov Ca²⁺]. *Biokhimiya* [Biochemistry]. 1998. Vol. 63. № 1. P. 47–56.
- Mitchell R. H. Inositol phospholipids and cell surface. Receptor function // *Biochem. Biophys. Acta*. 1975. Vol. 415. P. 81–147.
- Murachi T., Hatanaka M., Yasumoto Y., Tanaka K. A quantitative distribution study on calpain and calpastatin in rat tissues and cells // *Biochem. Int.* 1981. Vol. 2. № 6. P. 651–656.
- Murzina S. A., Nefedova Z. A., Veselov A. E., Ripatti P. O., Nemova N. N., Pavlov D. S. Changes in fatty acid composition during embryogenesis and in young age groups (0+) of Atlantic salmon *Salmo salar* L. The role of rheotactic behavior and lipid composition of fry in the formation of phenotypic groups of salmon in large Arctic rivers // *Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economic importance* / Patrick T. K. Woo, Donald J. Noakes (Eds.). NY: Nova Science Publishers, 2014. P. 47–67.
- Putney J. W. A model for receptor-regulated calcium entry // *Cell Calcium*. 1986. Vol. 7. P. 1–12.
- Sorimachi H., Imajoh-Ohmi S., Emory Y. et al. Molecular cloning of a novel mammalian calcium-dependent protease from both m- and μ -types. Specific expression of the mRNA in skeletal muscle // *J. Biol. Chem.* 1989. Vol. 264. P. 20106–20111.
- Sorimachi H., Hata S., Ono Y. Calpain chronicle – an enzyme family under multidisciplinary characterization // *Proc. Jpn. Acad.* 2011. № 6. B 87. P. 287–326.
- Tohmatsu T., Nakashima Sh., Nozawa Y. Evidence of Ca²⁺ mobilizing action of arachidonic acid in human platelets // *Biochim. et biophys. Acta*. 1989. Vol. 1012. P. 97–1022.

НАТАЛЬЯ ШАМИЛЬЕВНА ЛЕБЕДЕВА

доктор химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории физической химии растворов макроциклических соединений, Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН (Иваново, Российская Федерация)
nsl@isc-ras.ru

ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА МАЛЬКОВА

кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории физической химии растворов макроциклических соединений, Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН (Иваново, Российская Федерация)
ema@isc-ras.ru

ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ГУБАРЕВ

кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории физической химии растворов макроциклических соединений, Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН (Иваново, Российская Федерация)
gua@isc-ras.ru

АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ ВЬЮГИН

доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией физической химии растворов макроциклических соединений, Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН (Иваново, Российская Федерация)
aiv@isc-ras.ru

**СОСТОЯНИЕ БЫЧЬЕГО СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА В РАСТВОРАХ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА***

Взаимодействие между бычьим сывороточным альбумином (БСА) и диметилформамидом (ДМФА) было изучено с помощью флуоресцентной и спектроскопии отражения, вискозиметрии и калориметрии титрования. Было установлено, что ДМФА не образует комплексов с БСА. При концентрации ДМФА ниже 0,2 М БСА сохраняет нативную эллипсоидную конформацию, при концентрации ДМФА выше 0,25 М структура БСА переходит к форме закрученного статистического клубка.

Ключевые слова: бычий сывороточный альбумин, диметилформамид, флуоресцентная спектроскопия, спектроскопия отражения

Альбумин представляет собой самую большую фракцию белков плазмы крови человека – 55–65 %. Основная функция альбумина в организме человека – поддержание коллоидно-осмотического давления крови и транспорт билирубина, различных гормонов, жирных кислот, ионов металлов, лекарственных веществ и метаболитов. Физиологические свойства альбумина имеют огромное значение. В настоящее время проводится большое количество исследований, направленных на выявление зависимости между глобальными и локальными конформационными изменениями в белковой глобуле и способностью сывороточного альбумина крови связывать различного рода метаболиты [10], [14]. Например, нарушения углеводородного обмена при сахарном диабете обусловлены появлением в организме атипичных метаболитов, связываемых белком и вызывающих изменения его конформации [9]. Также показано, что состояние связывающих центров альбумина изменяется при сердечно-сосудистых заболеваниях (инфаркт миокарда, ИБС) [1], болезнях печени (гепатит, цирроз) [2], острых хирургических состояниях (перитонит) [2], оф-

тальмопатологии (катаракта, глаукома). Стойкие нарушения свойств альбуминовых центров выявлены при психических заболеваниях (некоторые формы шизофрении и депрессии) [12]. Следует отметить, что в подавляющем большинстве случаев метаболиты и лекарственные препараты являются водонерастворимыми соединениями. Поэтому *in-vitro* исследования проводят в присутствии органических растворителей: ДМСО, ДМФА, этанола [1], [7], [8]. При этом влиянием органических растворителей на состояние белка пренебрегают. Целью данной работы являлось изучение влияния смешанного растворителя вода – NaCl – ДМФА на состояние альбумина в растворе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Альбумин бычий, фракция V, для биохимии, рН 7,0 «Acros Organics» использовали без дополнительной очистки. NaCl (ЧДА) дважды перекристаллизован из водного раствора и высушен над вакуумом при комнатной температуре. Растворы альбумина были получены с использованием бидистиллированной воды. Концентрация

БСА в водном растворе NaCl (0,05 М) 0,08 % мас. ДМФА очищали с использованием стандартной методики [15].

Спектры флуоресценции и отражения регистрировали с помощью спектрофлуориметра Avantes AvaSpec-2048.

Кинематические вязкости водных растворов, содержащих альбумин, NaCl, ДМФА, определяли на капиллярном вискозиметре, сбор и анализ данных осуществлялся с помощью ПК. Надежность измерений проверяли на основании кинематической вязкости воды, которая при 298,15 К составила 0,8942 мПа × с, что согласуется с литературными данными [6].

Калориметрические измерения проводились с помощью дифференциального автоматического калориметра титрования [3]. ДМФА автоматически вводился с помощью дозатора в раствор альбумина с концентрацией 0,08 % мас. в воде с 0,05 М NaCl, находящегося в калориметрической ячейке. Также был проведен эксперимент для определения тепловых эффектов разбавления ДМФА при титровании их в воде с 0,05 М NaCl. Обработка экспериментальных данных осуществлялась в соответствии с методикой [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выбор в качестве среды смешанного растворителя вода – ДМФА, содержащего 0,05 моль/л NaCl, обусловлен высокой сольватирующей способностью ДМФА по отношению к ароматическим и алифатическим органическим соединениям, а также неограниченной растворимостью в воде. Добавление NaCl указанной концентрации нивелирует эффект полиэлектролитного набухания, как было показано в предыдущей работе [4]. Кроме того, ДМФА в отличие от ДМСО и этанола при одинаковом соотношении *органический растворитель: водный раствор белка* приводит к меньшему тушению флуоресценции БСА (рис. 1).

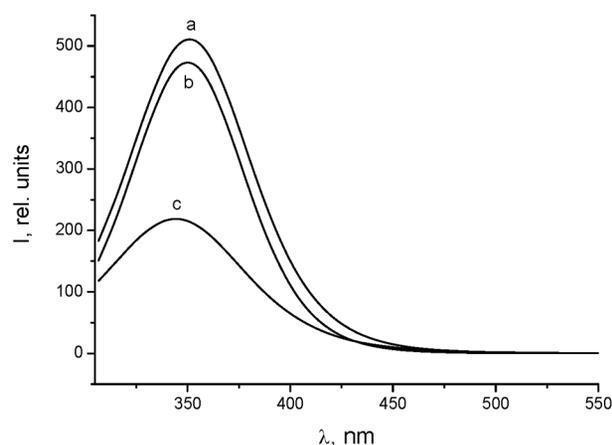


Рис. 1. Спектры флуоресценции ($\lambda_{ex} = 295$ нм) а) БСА в водном растворе 0,05 М NaCl; б) БСА в водно-органическом растворе 0,05 М и 0,06 М ДМФА; в) БСА в водно-органическом растворе 0,05 М и 0,06 М ДМСО

При длине волны накачки 295 нм флуоресценция белков обусловлена наличием триптофановых остатков, расположенных внутри субдоменов IV и IIА. Тушение флуоресценции свидетельствует об изменении конформационного состояния молекулы белка, при котором изменяется характер взаимодействия триптофановых остатков БСА с сольватным окружением [13]. Следует отметить, что отсутствие изменений в спектрах флуоресценции белка при добавлении ДМФА до концентрации 0,2 моль/л (рис. 2) свидетельствует об отсутствии влияния ДМФА на состояние триптофановых остатков молекулы альбумина. Однако на основании данных только флуоресцентной спектроскопии говорить о сохранении нативной конформации белка невозможно. Поэтому были проведены исследования гидродинамических свойств раствора белка с различным содержанием ДМФА (табл. 1, рис. 3) и оценены тепловые эффекты взаимодействия ДМФА с белком. Рассмотрим полученные данные. Увеличение концентрации ДМФА в воде и растворах белка приводит к увеличению кинематической вязкости растворов.

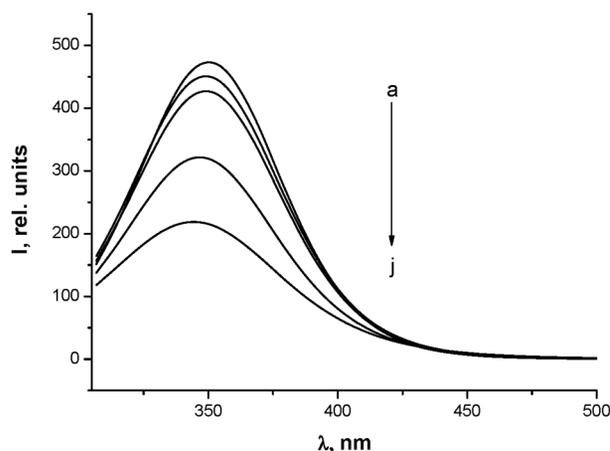


Рис. 2. Спектры флуоресценции ($\lambda_{ex} = 295$ нм) БСА в водном растворе 0,05 М NaCl при концентрациях ДМФА: 0, 0,13, 0,19, 0,25, 0,31 М

Для выделения эффекта влияния ДМФА на БСА была вычислена разница кинематической вязкости воды и растворов БСА при добавлении различного количества ДМФА ($\Delta v = v_b - v_{БСА}$) (таблица).

Изменение кинематической вязкости воды (v_b) и БСА ($v_{БСА}$) при изменении содержания ДМФА

С (ДМФА)	$v_b \pm 0,001$, мм ² /с	$N_{БСА} \pm 0,001$, мм ² /с	$\Delta v = v_{БСА} - v_b$
0,06	0,989	0,900	0,002
0,13	0,910	0,911	0,001
0,19	0,924	0,924	0
0,25	0,934	0,937	-0,002
0,31	0,935	0,945	0,10
0,39	0,941	0,960	0,19

Как видно из представленных на рис. 3 данных, добавление ДМФА в раствор БСА до концентрации 0,25 моль/л приводит к монотонному уменьшению $\Delta\nu$, что свидетельствует о приобретении молекулой белка эллипсоидной формы. Дальнейшее увеличение содержания ДМФА приводит к скачкообразному увеличению вязкости.

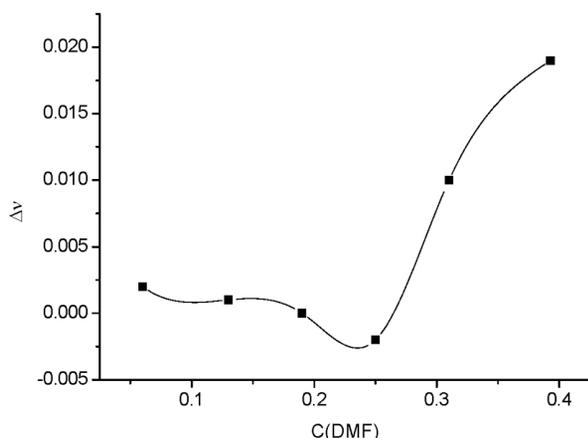


Рис. 3. Зависимость кинематической вязкости водного раствора БСА 0,05 М NaCl при изменении концентрации ДМФА

Это может являться следствием увеличения молекулярной массы образующегося полимерного комплекса или, что более вероятно, изменения формы альбумина от вытянутой к форме закрученного статистического клубка. Таким образом, при добавлении ДМФА в количестве 0,3 моль/л, как свидетельствуют результаты гидродинамических и спектральных исследований, БСА теряет нативную конформацию. Как было сказано ранее, увеличение вязкости раствора белка при добавлении ДМФА может быть связано с увеличением молекулярной массы за счет комплексообразования белка с ДМФА или с конформационными изменениями белковой молекулы. Для уточнения характера взаимодействия БСА с ДМФА в H_2O было проведено калориметрическое титрование раствора белка диметилформамидом. До достижения концентрации ДМФА 0,25 моль/л калориметрическая кривая имеет монотонный характер без четких точек переги-

ба, что свидетельствует об отсутствии процессов образования термодинамически устойчивых комплексов белка с ДМФА. Наличие флуктуации экспериментальных точек связано с тем, что тепловой эффект холостого опыта разведения ДМФА в воде значительно превышает тепловой эффект взаимодействия ДМФА с белком, что приводит к погрешности определения теплового эффекта взаимодействия.

Изменение в спектрах отражения дает дополнительную информацию о состоянии молекул БСА в растворе. Как видно на рис. 4, интенсивность спектра отражения БСА в области 400 нм увеличивается при добавлении ДМФА в концентрации до 0,25 моль/л. При дальнейшем добавлении ДМФА происходит уменьшение интенсивности пика в спектре отражения. Таким образом, исходя из данных, полученных из гидродинамических характеристик растворов белка и спектров отражения, можно сделать вывод о том, что при добавлении ДМФА менее 0,2 моль/л белок существует в растворе в форме вытянутого эллипса, близкой к нативной конформации, о чем свидетельствуют уменьшение $\Delta\nu$ и увеличение интенсивности пиков на спектрах отражения.

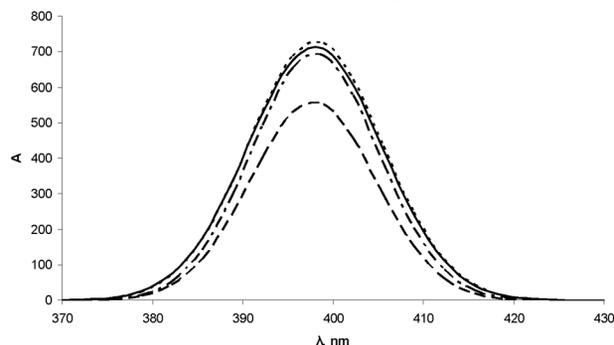


Рис. 4. Спектры отражения БСА, содержится: 0 М ДМФА (пунктирная линия), 0,13 М ДМФА (штрихпунктирная линия), 0,19 М ДМФА (пунктирная линия) и 0,25 М ДМФА (сплошная линия)

При добавлении ДМФА свыше 0,25 моль/л белок приобретает форму закрученного статистического клубка, что приводит к скачкообразному увеличению $\Delta\nu$ и уменьшению интенсивности спектров отражения.

* Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований № 12-03-97524_p_центр_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Filippov A., Artamonova M., Rudakova M., Gimatdinov R., Skirda V. Self-diffusion in a hyaluronic acid-albumin-water system as studied by NMR // *Magnetic Resonance in Chemistry*. 2012. Vol. 50. P. 114–119.
2. Gruzunov Y., Zaks I., Moroz V., Dobretsov G., Komarova M., Meshcheriakov G. Serum albumin: properties and functions and their evaluation in emergencies // *Anesteziologiya i reanimatologiya*. 2004. № 6. P. 68.
3. Lebedeva N., Michailovsky K., V'yugin A. A differential automatic titration calorimeter // *Russian J. of Phys. Chem. A*. 2001. Vol. 75. № 6. P. 1031–1033.
4. Lebedeva N., Popova T., Kozbial M., Wszelaka-Rylik M., Gubarev Y., Gierycz P. Influence of complex formation with tetraantraquinoporphyrazines and tetrasulphophthalocyanine on thermal stability of bovine serum albumin // *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*. 2011. Vol. 15. № 04. P. 223–229.
5. Bhagavan N. V. et al. Evaluation of human serum albumin cobalt binding assay for the assessment of myocardial ischemia and myocardial infarction // *Clinical Chemistry*. 2003. Vol. 49. № 4. P. 581–585.
6. CRC Handbook of Chemistry and Physics. N. Y.: CRC Press, 2003.

7. Ding F., Li N., Han B., Liu F., Zhang L., Sun Y. The binding of CI Acid Red 2 to human serum albumin: determination of binding mechanism and binding site using fluorescence spectroscopy // *Dyes and Pigments*. 2009. Vol. 83. № 2. P. 249–257.
8. Durmus M., Yaman H., Göl C., Ahsen V., Nyokong T. Water-soluble quaternized mercaptopyrindine-substituted zinc-phthalocyanines: synthesis, photophysical, photochemical and bovine serum albumin binding properties // *Dyes and Pigments*. 2011. Vol. 91. № 2. P. 153–163.
9. Guerin-Dubourg A., Catan A., Bourdon E., Rondeau P. Structural modifications of human albumin in diabetes // *Diabetes & metabolism*. 2012. Vol. 38. № 2. P. 171–178.
10. Jain S., Kumar C. V., Kalonia D. S. Protein/Peptide Interactions as Probed by Tryptophan Fluorescence: Serum Albumins and Enkephalin Metabolites // *Pharmaceutical research*. 1992. Vol. 9. № 8. P. 990–992.
11. Schwarz F., Reinisch T., Hinz H., Surolia A. Recommendations on measurement and analysis of results obtained on biological substances using isothermal titration calorimetry // *Pure and Applied Chemistry*. 2008. Vol. 80. № 9. P. 2025–2040.
12. Schwarz M. J. et al. Blood cerebrospinal fluid barrier impairment as indicator for an immune process in schizophrenia // *Neuroscience letters*. 1998. Vol. 253. № 3. P. 201–203.
13. Valeur B., Berberan-Santos M. N. *Molecular fluorescence: principles and applications*. John Wiley & Sons, 2013.
14. Xue L., Zou F., Zhao Y., Huang X., Qu Y. Nitrile group as infrared probe for the characterization of the conformation of bovine serum albumin solubilized in reverse micelles // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2012. Vol. 97. P. 858–863.
15. Weissberger A., Proskauer A., Riddick J., Toops E. *Organic solvents. Physical properties and methods of purification*. N. Y.: Interscience publishers Inc., 1955.

Lebedeva N. Sh., G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of RAS (Ivanovo, Russian Federation)
Mal'kova E. A., G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of RAS (Ivanovo, Russian Federation)
Gubarev Yu. A., G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of RAS (Ivanovo, Russian Federation)
V'yugin A. I., G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of RAS (Ivanovo, Russian Federation)

DEPENDENCE OF BOVINE SERUM ALBUMINE STATE IN SOLUTIONS WITH DIFFERENT DIMETHYLFORMAMIDE CONCENTRATION

The interaction between bovine serum albumin (BSA) and dimethylformamide (DMF) was studied by means of fluorescence and reflection spectroscopy, viscometry and isothermal titration calorimetry. It was found out that DMF does not form stable complexes with BSA. If the concentration of DMF is below 0,2 M, then BSA keeps its native form and exists in solutions in stretched ellipse forms, if the DMF concentration is above 0,25 M, then BSA shapes into statistical coil form.

Key words: bovine serum albumin, dimethylformamide, fluorescence spectroscopy, reflection spectroscopy

REFERENCES

1. Filippov A., Artamonova M., Rudakova M., Gimatdinov R., Skirda V. Self-diffusion in a hyaluronic acid-albumin-water system as studied by NMR // *Magnetic Resonance in Chemistry*. 2012. Vol. 50. P. 114–119.
2. Gryzunov Y., Zaks I., Moroz V., Dobretsov G., Komarova M., Meshcheriakov G. Serum albumin: properties and functions and their evaluation in emergencies // *Anesteziologiya i reanimatologiya*. 2004. № 6. P. 68.
3. Lebedeva N., Mikhailovsky K., V'yugin A. A differential automatic titration calorimeter // *Russian J. of Phys. Chem. A*. 2001. Vol. 75. № 6. P. 1031–1033.
4. Lebedeva N., Popova T., Kozbial M., Wszelaka-Rylik M., Gubarev Y., Gierycz P. Influence of complex formation with tetraaquaquinoporphyrazines and tetrasulphophthalocyanine on thermal stability of bovine serum albumin // *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*. 2011. Vol. 15. № 04. P. 223–229.
5. Bhagavan N. V. et al. Evaluation of human serum albumin cobalt binding assay for the assessment of myocardial ischemia and myocardial infarction // *Clinical Chemistry*. 2003. Vol. 49. № 4. P. 581–585.
6. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. N. Y.: CRC Press, 2003.
7. Ding F., Li N., Han B., Liu F., Zhang L., Sun Y. The binding of CI Acid Red 2 to human serum albumin: determination of binding mechanism and binding site using fluorescence spectroscopy // *Dyes and Pigments*. 2009. Vol. 83. № 2. P. 249–257.
8. Durmus M., Yaman H., Göl C., Ahsen V., Nyokong T. Water-soluble quaternized mercaptopyrindine-substituted zinc-phthalocyanines: synthesis, photophysical, photochemical and bovine serum albumin binding properties // *Dyes and Pigments*. 2011. Vol. 91. № 2. P. 153–163.
9. Guerin-Dubourg A., Catan A., Bourdon E., Rondeau P. Structural modifications of human albumin in diabetes // *Diabetes & metabolism*. 2012. Vol. 38. № 2. P. 171–178.
10. Jain S., Kumar C. V., Kalonia D. S. Protein peptide Interactions as Probed by Tryptophan Fluorescence: Serum Albumins and Enkephalin Metabolites // *Pharmaceutical research*. 1992. Vol. 9. № 8. P. 990–992.
11. Schwarz F., Reinisch T., Hinz H., Surolia A. Recommendations on measurement and analysis of results obtained on biological substances using isothermal titration calorimetry // *Pure and Applied Chemistry*. 2008. Vol. 80. № 9. P. 2025–2040.
12. Schwarz M. J. et al. Blood cerebrospinal fluid barrier impairment as indicator for an immune process in schizophrenia // *Neuroscience letters*. 1998. Vol. 253. № 3. P. 201–203.
13. Valeur B., Berberan-Santos M. N. *Molecular fluorescence: principles and applications*. John Wiley & Sons, 2013.
14. Xue L., Zou F., Zhao Y., Huang X., Qu Y. Nitrile group as infrared probe for the characterization of the conformation of bovine serum albumin solubilized in reverse micelles // *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2012. Vol. 97. P. 858–863.
15. Weissberger A., Proskauer A., Riddick J., Toops E. *Organic solvents. Physical properties and methods of purification*. N. Y.: Interscience publishers Inc., 1955.

Поступила в редакцию 30.05.2014

ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ РЫЖКОВ

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

ИРИНА МИХАЙЛОВНА ДЗЮБУК

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

БИОЛОГИЯ СИГА-ЛУДОГИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Представлены результаты исследования 572 экземпляров сига-лудог юго-западной части Онежского озера (р-н Шелтозеро – Брусно). Выявлено, что сиг-лудога этой части Онежского озера является экологической формой сига обыкновенного и относится к группе малотычинковых сегов. Соотношение полов близко к 1 : 1. Размерно-весовые показатели сига-лудог были в пределах от 29,5 до 55,0 см и от 284,2 до 1798,5 г. Абсолютный прирост массы тела с возрастом увеличивался от 127,9 до 183,7 г. Максимальная интенсивность накопления массы тела отмечена в возрасте 3+...6+ (23,5–24,4%), наибольшая скорость линейного роста – в 4+...6+ (8,0–9, 7%). В возрасте 3+...6+ масса тела накапливается интенсивнее по сравнению с линейным ростом. Сиг-лудога может быть использован для выращивания в садковых хозяйствах и в искусственно создаваемых системах замкнутого водоснабжения.

Ключевые слова: возрастной состав, половой состав, меристические признаки, пластические признаки, линейные размеры, масса тела, темп роста, скорость роста

ВВЕДЕНИЕ

Сиг-лудога – *Coregonus lavaretus ludoga* (по И. Ф. Правдину [5] – *C. l. ludoga natio onegi*) – одна из экологических форм сига обыкновенного (*Coregonus lavaretus* L.), являющегося полиморфным, широко распространенным видом. Только в Онежском озере выявлено 9 экологических форм сига обыкновенного, которые различаются между собой не только по меристическим и пластическим признакам, но и по местам обитания, образу жизни, характеру питания, срокам и местам размножения [1], [5], [10]. Среди них более распространен сиг-лудога, имеющий промысловое значение. По мнению В. П. Веденева [3], его уловы в конце прошлого века могли составлять 18–32 т, примерно 1/3 часть общего вылова сегов в Онежском озере. Наряду с промысловым значением сиг-лудога весьма перспективен для акклиматизации во многих водоемах России и ближнего зарубежья. Хорошие результаты были получены при вселении его в озеро Севан. Сиг-лудога может быть объектом садковой аквакультуры. Этому способствуют достаточно раннее половое созревание, высокий темп роста, хорошая адаптационная способность к изменяющимся условиям среды и пищевая ценность продукта.

В ходе выполнения многолетних мониторинговых работ нами были исследованы различные рыбы юго-западной части Онежского озе-

ра. Целью данного исследования было изучить биологические особенности перспективного в рыбохозяйственном отношении представителя сеговых – сига-лудог.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Сиг-лудога, являясь типичным бентофагом, относится к группе малотычинковых сегов. Среднее количество жаберных тычинок 28,8 при колебаниях их числа от 23 до 36. В период нагула обитает на глубинах до 45 м при температуре воды ниже 14–20 °С. Половозрелой онежская лудога становится в возрасте 4+...5+ лет при длине 20–30 см и массе тела 300–350 г. Плодовитость лудог колеблется в пределах 9–15 тыс. икринок. Нерестится сиг-лудога ежегодно на глубине от 2 до 15 м при температуре воды ниже 5 °С, обычно в конце октября – ноябре. Нерестилища располагаются преимущественно на твердых каменистых и каменисто-песчаных грунтах. В начале нереста на нерестилищах преобладают самцы, затем самки, но в общем соотношении полов близко к 1 : 1 [2], [7], [9].

Исследования проводили в летние периоды с 2000 по 2010 год в юго-западной части Онежского озера, в районе Шелтозеро – Брусно. Рыба отлавливалась ставными сетями с размером ячеи 32–48 мм. Исследовались возрастной, размерно-весовой и половой состав, меристические и пластические признаки. Сбор и обработка ихтиологи-

ческого материала проводились стандартными методами [6], [14], [16]. Анализ обработанных материалов выполнялся с помощью методов вариационной статистики [4]. Всего было выловлено и обработано 572 экз. сига-лудог.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отловленные сиги были представлены десятью возрастными группами (2+...11+) (рис. 1). Количественно преобладали особи в возрасте 7+ (21,3% от общего числа рыб). Сиги в возрасте 5+, 6+ и 8+ были представлены почти в равных количествах, их доля составляла 15–17%. Доля сига-лудог крайних возрастных групп 2+, 10+ и 11+ незначительна и колебалась в пределах от 0,5 до 2,8%.

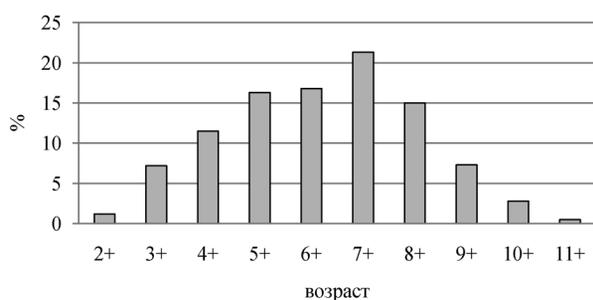


Рис. 1. Возрастной состав сига-лудог Онежского озера (р-н Шелтозеро – Брусно), 2000–2010 годы

По величине меристических признаков исследованная форма сига характеризуется следующими показателями:

- количество жаберных тычинок на 1-й жаберной дуге – $23,4 \pm 0,3$ (19–30);
- количество чешуй в боковой линии – $87,2 \pm 1,1$ (78–108);
- число лучей в D – $12,9 \pm 1,0$ (11–15);
- число лучей в A – $13,2 \pm 0,9$ (9–15).

Чешуйная формула в общем виде –

$$78 \frac{7-13}{8-14} 108.$$

Совпадающие материалы по меристическим признакам были получены Ю. С. Решетниковым и А. А. Лукиным [10] при изучении других стад сига-лудог в Онежском озере. По их данным, число жаберных тычинок у сига-лудог колеблется от 23 до 33, прободенных чешуй – от 82 до 99, лучей в D – от 10 до 14, лучей в A – от 10 до 13. Наши данные также могут быть дополнительным доказательством того, что сиг-лудог является экологической формой сига обыкновенного [5], [7], [15].

Из комплекса пластических признаков, формирующих форму тела рыб, можно выделить следующие: длина тела, наибольшая и наименьшая высота тела, длина головы, постдорсальное расстояние и антедорсальное расстояние.

В уловах длина тела сига-лудог колебалась в пределах от 29,5 до 55,0 см, то есть лудог мо-

жет входить в группу крупных сигов. Известно, что к мелкой форме относятся сиги средней длиной 10–15 см, а к крупной – 30–60 см [2], [5], [7], [8]. Исследованная нами лудог относится к высокотелым формам сигов. Наибольшая высота тела составляла $28,0 \pm 0,5\%$ (22,2–30,2%) длины тела, наименьшая высота тела – $9,9 \pm 0,3\%$ (6,5–14,9%) длины тела. Голова у лудог небольшая – $18,9 \pm 0,2\%$ (16,3–21,6%) длины тела. Антедорсальное расстояние – $46,3 \pm 0,4\%$ (42,1–54,5%), постдорсальное – $40,7 \pm 0,5\%$ (34,9–50,0%) длины тела. Глаза среднего размера, горизонтальный диаметр – $3,2 \pm 0,1\%$ (2,2–6,7%). Такая форма тела обеспечивает обитание сига-лудог на значительных глубинах. Небольшая голова и высокая часть вытянутой передней части тела создают возможности эффективно использовать кормовые ресурсы донной фауны и на протяжении всего жизненного цикла сохранять высокую скорость роста.

Соотношение полов сига-лудог в исследуемом районе юго-западного Онега характеризовалось незначительным преобладанием самок (54%). Однако в каждой возрастной группе это соотношение несколько изменяется (рис. 2). В возрасте 2+ четко преобладали самки (2,5 : 1,0). Возможно, преобладание самок существовало и в более раннем возрасте, но это требует дополнительных исследований. У более старшей молодежи перед половым созреванием (3+) самцы и самки отлавливались в равных количествах. В период же наступления половозрелости (4+...5+) доля самцов в уловах увеличилась (0,7 : 1,0). Это может быть обусловлено их большей активностью и более ранними подходами к нерестилищам. Известно, что в период нереста соотношение полов у сигов обычно выравнивается (1 : 1). Полученные нами материалы показали, что у половозрелых сигов (6+...8+) соотношение полов сохраняется около единицы (1 : 1). У более старших рыб (9+...11+) в уловах начинают преобладать самки. Это явление мы неоднократно наблюдали у сигов других экологических форм из водоемов средней Карелии. Возможно, это следствие более раннего полового созревания и повышенной естественной смертности самцов по сравнению с самками.

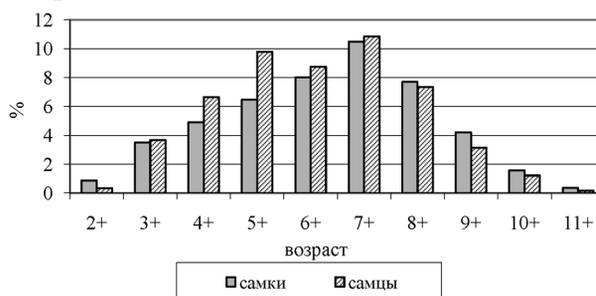


Рис. 2. Соотношение полов в разновозрастных группах сига-лудог Онежского озера (р-н Шелтозеро – Брусно), 2000–2010 годы

Широкий возрастной диапазон отловленных сигов (11 возрастных групп) хорошо согласуется с динамикой линейных и весовых показателей (рис. 3). На протяжении всего периода исследования (2000–2010 годы) в возрастных группах 2+...7+ показатели как линейных, так и весовых размеров достоверно не различались. Позднее, в возрасте 8+, в разные годы линейные размеры лудог колебались в пределах от 45,3 до 47,8 см, весовые – от 1126 до 1327 г. Несмотря на довольно широкий диапазон колебаний, различия в показателях также были не достоверны. В возрасте 9+...10+ по массе тела достоверно отличались сига 2005 и 2010 годов по сравнению с сигами 2000 года. По погодным условиям 2005 год был теплым, а 2010 год даже жарким. Достоверные различия в линейных размерах у этих возрастных групп сигов отмечены только в 2010 году. Возможно, высокие показатели массы тела сига-лудог в 2005 и 2010 годах и длины тела в 2010 году связаны с интенсивным развитием кормовых организмов как для планктофагов, так и для бентофагов. По нашим данным, в теплые годы численность планктонных организмов возрастала в 2,0–2,5 раза, донных животных в 1,7–1,9 раза по сравнению с холодными годами.

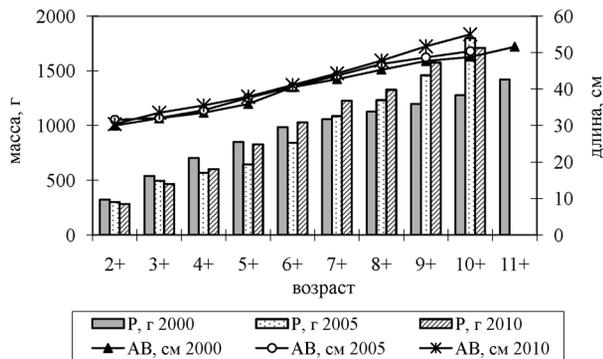


Рис. 3. Размерный состав сига-лудог Онежского озера (р-н Шелтозеро – Брусно), 2000–2010 годы

Достоверных различий в размерах и массе тела между самками и самцами лудог на протяжении всего периода исследования не выявлено.

О темпе роста сига-лудог можно судить по величине прироста абсолютных показателей (рис. 4). Средние показатели годового прироста массы тела с возрастом сига-лудог в основном увеличивались от 122,9 до 183,7 г. В динамике прироста абсолютных величин линейного роста сига-лудог четкого увеличения этого показателя с возрастом рыб нами не обнаружено. Незначительный рост его величины отмечен в возрастные периоды от 2+ до 6+ и от 7+ до 8+ (до 3,6 и 3,1 см/год соответственно), в остальные периоды (6+...7+ и 8+...10+) наблюдалось некоторое его снижение (до 2,8 и 2,0 см/год соответственно).

Особенно высокая величина прироста массы тела и линейных размеров отмечена сразу после

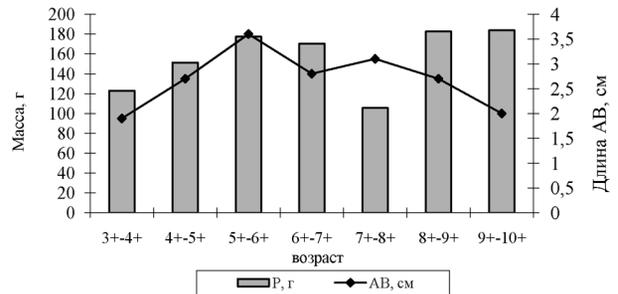


Рис. 4. Прирост массы и длины тела сига-лудог юго-западной части Онежского озера (р-н Шелтозеро – Брусно), 2000–2010 годы

наступления половозрелости. Их средние величины за многие годы по массе тела достигали 180 г в год, по линейным размерам 4 см/год. Это явление обычно объясняется усилением интенсивности питания для быстрого ускорения роста рыб, что способствует увеличению их плодовитости и сохранению численности вида.

Конечно, в разные годы абсолютные показатели линейных и весовых размеров рыб изменялись неравномерно. Наиболее высокими они были в теплый (2005) и жаркий (2010) годы, когда годовой прирост веса у рыб в возрасте 4+...5+ достигал 230 г. Линейные показатели наиболее высокими были у рыб в возрасте 5+...6+ (3,6 см). В холодный 2000 год эти показатели составляли 150 г и 2,4 см.

Если рассмотреть динамику интенсивности роста рыб, то максимальная скорость накопления массы тела отмечена у младших возрастных групп (рис. 5). У половозрелых рыб ее величина постепенно снижается, хотя и остается достаточно высокой. Если в возрасте 3+...4+ средняя скорость роста массы тела была 24,4%, то к возрасту 9+...10+ она сократилась до 12,8%. Максимальная скорость линейного роста отмечена у лудог в возрасте 4+...6+ (8,0–9,7%). Затем ее величина постепенно сокращается и в возрасте 9+...10+ равняется 4,1%.

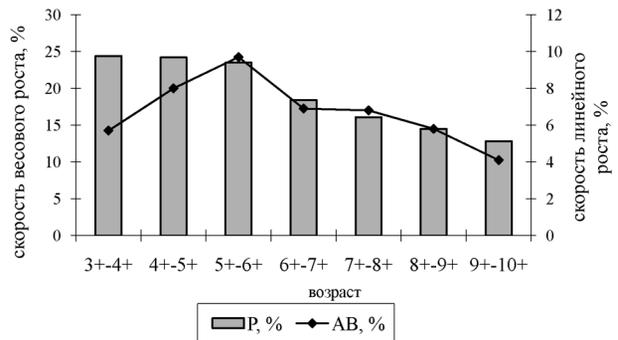


Рис. 5. Скорость весового и линейного роста сига-лудог юго-западной части Онежского озера (р-н Шелтозеро – Брусно), 2000–2010 годы

Наряду с изучением темпа и интенсивности роста сига-лудог важное значение для выращи-

вания рыбы в искусственных условиях имеют знания периодичности изменения соотношения линейного и весового роста. Для получения товарной продукции важны периоды интенсивного накопления массы тела. О таких периодах в возрастном аспекте можно судить по индексам соотношения (ИС) массы тела (в мг) к кубу длины (в см) [11], [12], [13]. Известно, что на протяжении жизненного цикла рыба растет неравномерно, о чем можно судить по величине ИС. При интенсивном накоплении массы тела (рост в высоту и ширину) величина ИС будет увеличиваться, а при усилении линейного роста (рост в длину) показатель ИС будет уменьшаться. Это значит, что, зная динамику ИС, можно судить о возрастных особенностях продукционного роста рыб.

Полученные нами материалы по динамике ИС у сига-лудоги в разные годы обобщены на рис. 6. В разном возрасте и в разные годы исследования величина ИС у лудоги изменялась от 10,3 (линейный рост) до 18,7 (накопление массы). По нашим данным, накопление массы тела у лудоги наиболее интенсивно происходит в возрасте 3+...6+. Этот период связан с наступлением половозрелости. При дальнейшем росте рыбы величина накопления массы по сравнению с линейным ростом несколько снижается, что свидетельствует о замедлении темпа наращивания продукции в этом возрасте и должно учитываться рыбоводами при использовании лудоги в качестве объекта выращивания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованный сиг-лудога в юго-западной части Онежского озера является экологической формой сига обыкновенного. Возрастной ряд его в уловах был представлен в достаточно широком диапазоне – 2+...11+ лет. В целом соотношение полов близко к 1 : 1. Размерно-весовые показатели сига-лудоги в уловах изменялись 29,5 до 55,0 см и от 284,2 до 1798,5 г. Половые различия в длине и массе тела не выявлены.

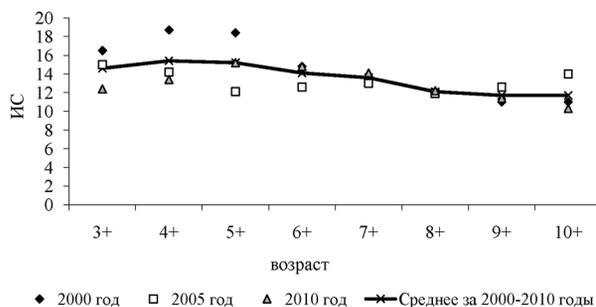


Рис. 6. Индекс соотношения массы тела (мг) к кубу длины (см) сига-лудоги юго-западной части Онежского озера (р-н Шелтозеро – Брусно), 2000–2010 годы

Абсолютные показатели прироста массы тела у сига-лудоги с возрастом увеличивались от 127,9 до 183,7 г. В отдельные годы их величина возрастала до 230 г. Динамика абсолютных показателей длины тела с возрастом изменялась волнообразно с максимумом в возрасте 6+. Наибольшая величина линейного прироста равнялась 3,6 см/год. Высокая интенсивность накопления массы тела отмечена в возрасте 3+...6+ (23,5–24,4%). Скорость линейного роста наибольшей интенсивности достигала в возрасте 4+...6+ (8,0–9,7%). Судя по величине ИС в возрасте сигов 3+...6+ преобладает накопление массы тела. Линейный рост несколько замедляется.

Таким образом, полученные нами результаты могут быть основой для регулирования рыболовства и при выращивании сига-лудоги в рыбоводных хозяйствах Карелии. Сиг-лудога, являясь одной из экологических быстро растущих форм сига обыкновенного, может использоваться для выращивания в садковых хозяйствах и в искусственно создаваемых системах замкнутого водоснабжения. Ему свойственна хорошая мясистость, он достаточно быстро растет, хорошо адаптируется к условиям среды и может давать конкурентоспособную рыбную продукцию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас пресноводных рыб России. Т. 1. М.: Наука, 2002. 379 с.
2. Беляева К. И. Распространение, биология и промысловое значение различных форм сига *Coregonus lavaretus* (L.) в Онежском озере // Сб. науч. тр. ГОСНИОРХ. Л., 1983. С. 15–33.
3. Веденев В. П. Биология и промысел сига лудоги северо-восточной части Онежского озера // Рыбы Онежского озера и их хозяйственное использование: Сб. науч. трудов. Л., 1983. С. 98–107.
4. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учебное пособие для студентов биол. специальности. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского гос. ун-та, 2003. 302 с.
5. Правдин И. Ф. Сиги водоемов Карело-Финской ССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 324 с.
6. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
7. Решетников Ю. С. Экология и систематика сиговых рыб. М., 1980. 300 с.
8. Решетников Ю. С. Метод экспертной оценки состояния особи и популяции сиговых рыб: Материалы Пятого Всероссийского совещания. СПб., 1994. С. 76–78.
9. Решетников Ю. С. Современные проблемы изучения сиговых рыб // Вопросы ихтиологии. М., 1995. Т. 35. Вып. 2. С. 156–174.
10. Решетников Ю. С., Лукин А. А. Сиговые рыбы // Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2008. С. 121–137.
11. Рыжков Л. П. Динамика соотношения весовых и размерных показателей у различных видов рыб // Водные экосистемы: трофические уровни и проблемы поддержания биоразнообразия: Материалы Всероссийской конференции

- «Водные и наземные экосистемы: проблемы и перспективы исследований» (Вологда, Россия, 24–28 ноября 2008 г.). Вологда, 2008. С. 357–359.
12. Рыжков Л. П. Экологические аспекты динамики соотношения величин массы и размеров тела окуня // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера: Материалы XXVIII Междунар. конф. Петрозаводск, 2009. С. 475–478.
 13. Рыжков Л. П. Динамика роста плотвы (*Rutilus rutilus* L.) в северных озерах // Материалы междунар. конф. «Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов». Петрозаводск, 2010. С. 159–161.
 14. Рыжков Л. П., Дзюбук И. М., Кучко Т. Ю. Ихтиологические исследования на водоемах: Учеб.-метод. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. 71 с.
 15. Рыжков Л. П., Курицын А. Е. Систематическое положение и экологические формы сигов водоемов Средней Карелии // Материалы I Всероссийской конференции с международным участием. Т. 2. Борок, 2011. С. 679–687.
 16. Чугунова Н. И. Руководство по методике определения возраста и роста рыб. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 164 с.

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

BIOLOGY OF WHITEFISH-LUDOGA INHABITING SOUTHWESTERN PART OF ONEGA LAKE

Research results of 572 samples of the whitefish-ludoga of the southwestern part of Onega Lake (Sheltozero – Brusno) are presented. It was revealed that the whitefish-ludoga of this part of Lake Onega is an ecological form of the ordinary whitefish and belongs to a group of “malotychnkovykh” whitefish. The sex ratio of the studied species was close to 1:1. Dimensionally – weight indexes of the whitefish-ludoga species ranged from 29,5 to 55,0 cm and from 284,2 to 1798,5 g. The absolute weight increased by age from 127,9 to 183,7 g. The maximum intensity of the body weight accumulation was noted at the age of 3+...6+ (23,5–24,4 %) years, and the highest rate of the species’ linear growth was noted at the age of 4+...6+ (8,0–9,7 %) years. At the age of 3+...6+ years old the body weight of the studied species accumulated more intensively than the linear growth. The whitefish-ludoga can be used for cultivation in cage farms and in artificially created recirculation systems.

Key words: Onega Lake, whitefish-ludoga, age structure, sex ratio, meristic characters, plastic signs, linear dimensions, weight, growth rate

REFERENCES

1. *Atlas presnovodnykh ryb Rossii* [Atlas of Russian freshwater fish]. Vol. 1. Moscow, Nauka Publ., 2002. 379 p.
2. Belyaeva K. I. Distribution, biology and commercial value of various forms of whitefish *Coregonus lavaretus* (L) in Lake Onega [Распространение, биология и промысловое значение различных форм сига *Coregonus lavaretus* (L.) в Онежском озере]. *Sb. nauch. tr. GOSNIORKh* [Sat scientific. tr. GosNIORKh]. Leningrad, 1983. P. 15–33.
3. Vedenev V. P. Biology and whitefish fishery in the northeastern part of Lake Onega [Биология и промысел сига лудоги северо-восточной части Онежского озера]. *Ryby Onezhskogo ozera i ikh khozyaystvennoe ispol'zovanie* [Fish Lake Onega and their economic use. Collection of scientific papers]. Leningrad, 1983. P. 98–107.
4. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Vvedenie v kolichestvennyuyu biologiyu: Uchebnoe posobie dlya studentov biol. spetsial'nosti* [Introduction to quantitative biology. Textbook for students of biol. specialty]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2003. 302 p.
5. Pravdin I. F. *Sigi vodoemov Karelo-Finskoy SSR* [Whitefish waters of the Lithuanian SSR]. Moscow; Leningrad, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1954. 324 p.
6. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Study Guide for fish study]. Moscow, 1966. 376 p.
7. Reshetnikov Yu. S. *Ekologiya i sistematika sigovykh ryb* [Ecology and Systematics of whitefish]. Moscow, 1980. 300 p.
8. Reshetnikov Yu. S. Method of expert assessment of single species and populations of whitefish [Metod ekspertnoy otsenki sostoyaniya osobi i populyatsii sigovykh ryb]. *Materialy Pyatogo Vserossiyskogo soveshchaniya* [Proceedings of the Fifth All-Russian Conference], St. Petersburg, 1994. P. 76–78.
9. Reshetnikov Yu. S. Modern problems of studying whitefish [Sovremennyye problemy izucheniya sigovykh ryb]. *Voprosy ikhtiologii* [Journal of Ichthyology]. Moscow, 1995. Vol. 35. Issue 2. P. 156–174.
10. Reshetnikov Yu. S., Lukin A. A. Whitefish fish [Sigovye ryby]. *Bioresursy Onezhskogo ozera* [Biological resources of Lake Onega]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS Publ., 2008. P. 121–137.
11. Ryzhkov L. P. Dynamics of the relationship of weight and size parameters in different species of fish [Dinamika sootnosheniya vesovykh i razmerykh pokazateley u razlichnykh vidov ryb]. *Vodnye ekosistemy: troficheskie urovni i problemy podderzhaniya bioraznoobraziya: Materialy Vserossiyskoy konferentsii “Vodnye i nazemnye ekosistemy: problemy i perspektivy issledovaniy”* [“Aquatic ecosystems: trophic levels and the problem of maintaining biodiversity”]. Proceedings of the All-Russian Conference “Aquatic and terrestrial ecosystems: problems and prospects for future research”. Vologda, 2008. P. 357–359.
12. Ryzhkov L. P. Environmental aspects of dynamics of the bass mass ratio and size [Ekologicheskie aspekty dinamiki sootnosheniya velichin massy i razmerov tela okunya]. *Biologicheskie resursy Belogo morya i vnutrennykh vodoemov Evropeyskogo Severa: Materialy XXVIII Mezhdunar. konf.* [Biological resources of the White Sea and inland waters of the European North: Mater. XXVIII Intern. conf.] Petrozavodsk, 2009. P. 475–478.
13. Ryzhkov L. P. Dynamics of growth of roach (*Rutilus rutilus* L.) in northern lakes [Dinamika rosta plotvy (*Rutilus rutilus* L.) v severnykh ozerakh]. *Materialy Mezhdunar. konf. “Sovremennyye problemy fiziologii i biokhimii vodnykh organizmov”* [Mater. Intern. conf. “Current problems of physiology and biochemistry of aquatic organisms”]. Petrozavodsk, 2010. P. 159–161.
14. Ryzhkov L. P., Dzyubuk I. M., Kuchko T. Yu. *Ikhtiologicheskie issledovaniya na vodoemakh: Uchebno-metodicheskoe posobie* [Ichthyological studies on water reservoirs. Teaching aid.]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2013. 71 p.
15. Ryzhkov L. P., Kuritsyn A. E. Systematic position and ecological forms of whitefish waters of Central Karelia [Sistematicheskoe polozhenie i ekologicheskie formy sigov vodoemov Sredney Karelii]. *Materialy I Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Proceedings of the I Russian conference with international participation]. Vol. 2. Borok, 2011. P. 679–687.
16. Chugunova N. I. *Rukovodstvo po metodike opredeleniya vozrasta i rosta ryb* [Manual method of determining the age and growth of fish]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1959. 164 p.

Поступила в редакцию 24.04.2014

ИГОРЬ ЛЕОНИДОВИЧ ТУМАНОВ

доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Западный филиал ВНИИ охотничьего хозяйства и звероводства им. профессора Б. М. Житкова (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
itumanov@rambler.ru

ЯПОНСКИЙ КОЛОНОК НА САХАЛИНЕ

Японский колонок был завезен из Японии на юг о. Сахалин в 1932 году. Зверьки прижились и вскоре расселились по водотокам его южных районов. По ряду морфологических и генетических признаков он несколько отличается от материкового вида. Приводятся данные о местах обитания, питании и поведении животных. По невыясненным до конца причинам с начала 70-х годов XX века численность их стала заметно снижаться, и в дальнейшем встречи следов в характерных для вида угодьях становились все более редкими. В настоящее время надежные данные о наличии японского колонка на о. Сахалин отсутствуют.

Ключевые слова: Южный Сахалин, японский колонок, распространение, морфология, особенности питания и поведения

ИСТОРИЯ АККЛИМАТИЗАЦИИ

Японский колонок, или итатси (*Mustela sibirica itatsi* Temmink, 1844), впервые был завезен в южную часть Сахалина с о. Хоккайдо в 1932 году. На родине, в местах постоянного распространения, он считается полезным зверьком, поскольку способен в природных условиях и складских помещениях активно истреблять серых крыс, мышей и полевков. Поэтому в неурожайные годы и при резко возросшей вредоносности грызунов японские крестьяне, а затем и специалисты-зоологи в конце XIX – начале XX столетия начали использовать этот вид как биологический метод борьбы с ними. Колонков стали интенсивно отлавливать на южных островах страны и выпускать в угодья северных территорий – вначале на Хоккайдо, а затем и на Южный Сахалин. По имеющимся данным [6], с марта 1932 по 1940-е годы на Сахалине были расселены 123 особи этого вида (84 самца и 39 самок). Хищники прижились и вскоре в юго-восточной части острова по долинам рек Бол. Такой и Найба проникли уже до пос. Стародубское (47° 25' с. ш.) Долинского района. В 50-х годах прошлого века итатси был вполне обычен вблизи сельскохозяйственных угодий, по берегам водотоков и около населенных пунктов, где постоянно обитали мелкие грызуны и крысы. Так, в осенне-зимнем сезоне 1954/55 года севернее Южно-Сахалинска, в районе поселков Березняки, Старорусское и Сокол, только одним охотником В. Ф. Спицыным было отловлено 11 зверьков [13].

В 1960-х годах ареал японского колонка в характерных для него местах охватывал всю южную часть острова, где он обитал прежде всего по речным долинам. Севернее населенных пунктов Поронайск и Смирных этот теплолюбивый хищник не продвигался. Дальнейшее его перемещение в угодья северных территорий было ог-

раничено, видимо, уровнем низких температур в зимний период. В последующем десятилетии площади участков, занимаемые им, резко сократились и к основным местообитаниям зверька на Сахалине относили только Сусунайскую долину (Долинский район) и некоторые разрозненные участки бассейнов водотоков в Корсаковском, Невельском и Холмском районах [8]. Считается, что в этот период ареал итатси в Сусунайской долине не превышал 1200–1600 км² [5]. Его расселение на север сдерживалось более суровыми климатическими условиями. На юге острова негативное влияние на популяцию вида могли оказывать возросшая численность завезенных сюда соболя (1952 год) и американской норки (1956 год), а также интенсивное опромышление пушнины в южных, более населенных районах. Специальным отловом японского колонка здесь не занимались, но зверьки все же попадались в капканы, выставленные охотниками для отлова американской норки и ондатры.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Внешне итатси похож на сибирского колонка, от которого отличается прежде всего некоторыми краниологическими признаками, расцветкой и резко выраженным половым диморфизмом по размерам тела. Автору приходилось осматривать зверьков, отловленных ранее в природе Л. М. Беньковским, а также содержащихся в виварии Новосибирского биологического института СО РАН. По этим наблюдениям, у особей сибирского вида окраска шерсти примерно однотонная, рыжевато-охристых тонов и более светлая на брюшной стороне. У итатси она заметно темнее и разнообразнее. Его спина и конечности имеют серовато-бурый или красновато-бурый цвет остевых волос. Брюшко существенно светлее спины. Окраска нижней губы подбородка и горловой

части туловища – белесая. За белой верхней губой и черной мочкой носа отчетливо проступает коричневато-бурая лицевая маска. Хвост ровный, темных тонов, иногда имеет даже более насыщенный окрас по сравнению со спиной [17].

Как и другие мелкие куницы, японский колонк обладает гибким, вытянутым телом и сравнительно короткими конечностями. Округлая голова с широко посаженными небольшими ушами и мускулистая шея напоминают строение тела хорька. Самцы итатси по весу и основным размерам тела практически не отличаются от таковых сибирского колонка, но уступают ему по длине хвоста и уха (табл. 1). По имеющимся сведениям [16], у колонка хвостовой отдел содержит 20–23 позвонка и составляет 49% от длины тела. У итатси эти показатели меньше: 18–20 и 38% соответственно. Среди тех и других нередко встречаются очень крупные особи, перекрывающие по размерно-весовым признакам верхний предел морфологических показателей другого вида. Так, Л. М. Беньковскому [3] приходилось отлавливать взрослых самцов японского колонка весом 790–943 г при длине тела 390–420 мм. В остеологической коллекции Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГГ) хранится карточка промеров крупного самца, добытого 4.04.1964 г., вес которого был

равен 995 г, длина его тела составляла 400 мм. Взрослые самки островной формы по всем показателям мельче таковых у зверьков, обитающих на материке. В осенне-зимний период упитанные самцы итатси весят примерно в 3,0–3,5 раза больше самок. Особи, отловленные на Сахалине в конце 60-х годов прошлого века, имели вес: самки 162–267 г, самцы 425–943 г [3]. Половой диморфизм по основным промерам черепа также выражен у этого вида очень отчетливо (табл. 2).

Череп японского колонка узкий и вытянутый, его высота в области слуховых барабанов менее 75% мастоидной ширины. Лобная площадка плоская, заднелобный вырез имеет выступ посередине. Ширина заднего отдела костного неба меньше расстояния между задними сонными отверстиями, а кончики отростков клиновидных костей заметно расходятся наружу и крючковидно изогнуты. Слуховые барабаны трапезиевидные, сравнительно короткие, со значительно расходящимися к заднему краю внутренними сторонами [2].

Как сообщает С. У. Строганов [15], бакулюм итатси по форме и размерам (30–34 мм) похож на таковой у *M. sibirica*. Однако у первого он в дистальной трети обычно прямой и лишен характерного для сибирского колонка изгиба. У обеих форм вершина косточки крючкообразно загнута.

Таблица 1

Масса (г) и размеры тела (мм) сибирского колонка и итатси (*M*; *lim*)

Показатели	Сибирский колонк				Итатси				
	самцы (<i>n</i> = 5)		самки (<i>n</i> = 4)		самцы (<i>n</i> = 9)		самки (<i>n</i> = 4)		
Масса тела	702	650–760	378	350–410	718	520–995	196	168–224	
Длина	тела	358	335–380	287	262–320	377	343–400	258	235–275
	хвоста	176	163–195	145	134–158	151	130–175	104	100–115
	ступни	59	54–63	49	48–51	61	55–66	39	36–42
Высота уха	24	22–25	19	16–22	19	17–23	16	14–18	

Примечание. Замеры сибирского колонка проведены нами на зверьках, отловленных в Бурятии. Исходные данные по итатси, представленные в табл. 1, взяты из картотеки коллекционных сборов ИМГГ (г. Южно-Сахалинск), а промеры черепов (табл. 2) проведены нами на материале той же коллекции.

Таблица 2

Размеры черепа (мм) японского колонка, обитающего на Южном Сахалине (*M*; *lim*)

Показатели	Беньковский [3]				Гуманов [17]				
	Самцы (<i>n</i> = 55)		Самки (<i>n</i> = 10)		Самцы (<i>n</i> = 21)		Самки (<i>n</i> = 9)		
Длина	общая	59,2	57,0–61,0	51,1	46,3–53,0	–	–	–	–
	кондилобазальная	–	–	–	–	60,3	56,2–64,9	47,6	46,1–49,0
	лицевого отдела	22,4	21,0–24,0	18,5	17,5–19,0	28,5	24,0–32,4	20,7	19,2–21,7
	мозгового отдела	35,1	34,0–37,0	33,2	30,0–36,0	35,6	33,1–38,0	29,6	28,3–31,1
	слуховых барабанов	16,5	15,0–18,4	15,5	15,0–16,0	17,1	16,4–18,3	14,5	14,0–15,3
	верхнего ряда зубов	16,5	15,4–17,0	12,3	11,9–12,8	16,3	14,9–18,1	12,9	12,3–13,8
Ширина	костного неба	–	–	–	–	27,0	25,2–28,6	20,6	19,3–21,8
	скуловая	32,4	30,4–33,5	25,0	23,0–26,0	32,7	30,3–36,0	24,0	21,7–25,2
	межглазничная	15,4	13,6–16,5	11,3	11,0–12,4	12,3	11,5–13,4	9,3	9,0–9,5
	заглазничная	11,5	10,1–13,0	10,0	9,5–11,0	11,7	10,1–12,9	9,8	8,9–10,8
	мастоидная	–	–	–	–	28,4	27,0–30,2	21,8	21,4–22,3
	рострума	–	–	–	–	13,0	11,5–15,3	9,2	8,6–9,5
Высота черепа	20,2	19,0–22,3	15,1	14,0–17,4	20,8	19,3–24,0	16,2	15,4–17,3	

По материалам А. В. Абрамова [1], такой признак, как искривленность ствола, сильно варьирует у разных особей. Из 12 бакулюмов, взятых от итатси, только 7 имели почти прямой ствол, а остальные были в той или иной степени изогнуты. Форма дистального конца («крючка») также не отличалась от такового у сравниваемых животных, поэтому строение их бакулюма не может считаться видоспецифичным для рассматриваемых хищников. В известной мере вес и размеры этого органа определяют возраст зверьков. Так, молодые особи имели массу бакулюма, равную 50–90 мг при длине 26,8–29,1 мм, 3-летние – 155–180 мг и 23,4–28,0 мм, 4-летние – 205–250 мг и 30,5–32,5 мм соответственно [8].

По кариотипу итатси ($2n = 38$, $NFa = 64$) и сибирский колонок ($2n = 38$, $NFa = 58$) несколько различаются. Основные отличия заключаются в большем количестве у первого добавочного гетерохроматина [10], [16], [18]. В этих работах авторы также сообщают, что колонок имеет сходное с итатси количество хромосом ($2n = 38$), но отличается большим числом акроцентрических аутосом (7 пар) и, соответственно, меньшим числом двуплечных аутосом (11 пар).

Среди отечественных зоологов нет единого мнения о таксономическом статусе итатси. Одни исследователи считают его островной формой *Mustela sibirica*, другие – самостоятельным видом. По свидетельству А. В. Абрамова [1], который проанализировал и обобщил имеющуюся по этому вопросу литературу, выявленные различия по краниологическим и экстерьерным признакам между сибирским и японским колонками находятся на видовом уровне. Кроме того, японские исследователи [19] показали, что обе формы имеют 4,0–4,3% различий в нуклеотидных последовательностях цитохрома «b», в то время как между особями итатси из разных популяций они не превышают 0,8%. Основываясь на степени различий и предполагаемой скорости эволюции цитохрома «b», цитируемые японские исследователи считают, что итатси отделился от общего с сибирским колонком предка 1,6–1,7 млн лет назад, то есть возник, видимо, в начале плейстоцена. Исходя из этого нельзя трактовать уровень морфологических особенностей рассматриваемых хищников только как следствие островной изоляции итатси. Значительное время существования этой формы подтверждает видовую самостоятельность японского колонка [1].

МЕСТА ОБИТАНИЯ

Итатси придерживается в основном речных долин, встречается в сырых распадках и верховьях ключей. В густых лесных массивах по склонам возвышенностей он редок. Судя по всему, зверек всегда живет недалеко от воды, заселяя пойменные лиственные леса с частым кустарником и травянистой растительностью. Обычен

на низинных вырубках и зарастающих гарях, в тростниковых зарослях по берегам небольших озер и стариц, а также по краям лесных болот, то есть там, где больше корма. В 70-х годах прошлого века, когда численность животных была еще сравнительно высокой, их следы часто наблюдали в долинах мелких рек и ручьев, на лесных, густо заросших кустарником участках. Сухих, открытых пространств этот хищник избегает. Обитает он и у населенных пунктов, где охотится на синантропных грызунов, прежде всего на серых крыс. Убежища зверьков располагаются в кустарниковых зарослях, прикорневых пустошах, каменистых участках, то есть в хорошо защищенных местах, близко расположенных к водотокам, и там, где есть возможность добывать необходимое количество пищи.

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ И ПОВЕДЕНИЯ

Питается японский колонок мелкими животными: полевками, мышами, серой крысой, пресмыкающимися, амфибиями, ракообразными и крупными насекомыми. Добывает рыбу, мелких птиц и их яйца, ест плоды дикой черной смородины, малины и некоторых других ягодных растений, не брезгает падалью [13], [14].

По наблюдениям сахалинских исследователей [4], [8], в состав основных кормов хищника входят мелкие млекопитающие, рыба и земноводные (табл. 3). Ондатра в регионе встречается повсеместно, однако ее остатки в желудках и экскрементах японского колонка обнаруживали редко. Из других грызунов в просмотренных пробах чаще встречали фоновые виды – красную и красно-серую полевку, лесную азиатскую мышь и серую крысу, которая на Сахалине хорошо приспособилась к обитанию по берегам рек. Она отлично плавает и основной корм добы-

Таблица 3
Характеристика питания итатси на Южном Сахалине

Вид пищи	Беньковский [4] ($n = 395$)		Воронов [8] ($n = 108$)	
	Кол-во встреч	%	Кол-во встреч	%
Красная и красно-серая полевки	351	88,9	75	69,4
Лесная азиатская мышь	233	84,0	57	52,7
Серая крыса	75	20,0	14	12,9
Домовая мышь	23	6,0	–	–
Ондатра	–	–	4	3,7
Рыба	277	70,1	26	24,0
Птицы	32	8,1	15	13,6
Пресмыкающиеся	94	23,9	3	2,7
Амфибии	117	29,6	5	4,6
Ракообразные	130	32,9	12	11,1
Насекомые	–	–	17	15,7
Растительные остатки	61	15,4	30	27,7
Падаль	7	1,8	–	–

вают в береговой зоне водоемов. С наступлением холодов серые крысы концентрируются у рыбо-разводных прудов и сельскохозяйственных ферм, выстроенных вблизи рек. Вслед за ними в поисках пищи сюда перемещаются и итатси, которые осенью очень активно охотятся на синантропных грызунов. Встречаемость рыбы в осмотренных пробах составляла от 24,0 до 70,1%. На острове существует густая сеть больших и малых рек, богатых речной рыбой. Во многие крупные водотоки на нерест заходят горбуша и кета. Весь этот легкодоступный корм в период с июня по ноябрь служит важным компонентом пищевого рациона хищных млекопитающих, в том числе японских колонков. Мелкую рыбу они потребляют целиком, а у крупной съедают только мягкие ткани. Кроме того, около остатков отнерестившейся павшей рыбы зверьки иногда отлавливают разные виды птиц, полевок, мышей, серую крысу, а иногда и бурозубок.

Поздней весной и летом итатси (особенно молодые особи) добывают травяную лягушку, режее жабу, живородящую ящерицу и крупных насекомых. Доля ракообразных, особенно бокоплавов, в их рационе колебалась в пределах от 11,1 до 32,9%.

Японский колонкок прекрасно плавает. В течение всего года ведет активный образ жизни. Однако при большой весовой нагрузке на опорную поверхность лап зимой подолгу охотится не на поверхности снега, а под его толстым слоем. Здесь он добывает полевок в их зимних ходах, а также в теплых гнездах, которые грызуны устраивают в колоднике бурелома и горах камней. Летом он более активен, чем зимой, поскольку плохо переносит морозы и при очень низких температурах может долгое время не выходить из гнезда, питаясь падалью и остатками недавней добычи. По сравнению с материковым колонком итатси менее активен в отыскании кормов, а также редко взбирается на деревья [15].

В холодные с продолжительными морозами зимние месяцы (декабрь – февраль) этот хищник не всегда появляется на поверхности снежного покрова, где его суточный ход обычно не превышает 500 м [8]. В этот период года самки, как более мелкие, соответственно, обладающие большей поверхностью теплоотдачи, заметно реже самцов покидают свое подснежное убежище. Здесь, в отличие от островов Японии, мощный снежный покров держится долго и в горах, и в долинах, поэтому четко выраженных сезонных миграций зверей не наблюдается. В разгар весеннего половодья (апрель – май) кроме следов итатси, перемещающихся вдоль рек и ручьев к вершинам гор, удавалось отмечать следы этих животных и даже отлавливать некоторых из них в районах нижнего течения водотоков. С наступлением оттепелей (март) протяженность суточ-

ных набродов самцов по поверхности снега увеличивалась до 2,5 км, самок – до 1 км.

Гон у японского колонка происходит в конце марта – мае, продолжительность жизни не превышает таковую у особей с материка. В промысловой выборке, состоящей из взрослых 32 самцов и 10 самок, максимальный возраст первых достигал 4, а вторых – 5 лет [8].

ЧИСЛЕННОСТЬ

Если в 50–60-х годах прошлого века итатси на Южном Сахалине считался обычным представителем местной фауны, то с начала 70-х годов встречи его следов в характерных для вида угодьях становились все более редкими. Официально промысел итатси был разрешен в 1948 году. Специально на него охотились редко, хотя исключить его попадание в капканы, выставленные на экономически более выгодные виды, не представлялось возможным. В заготовки поступало не более 20 шкурок в год и только в редких случаях до 80–90 экз. За 20–25-летний период промыслового использования популяции этого акклиматизанта на Сахалине было заготовлено немногим более 1,5 тыс. шкурок [7]. Однако нельзя не учитывать, что именно на 70–80-е годы приходился основной промысловый пресс на дикие пушные виды, шкурки которых в массе уходили на внутренний рынок.

К концу 1970-х годов площадь местообитания итатси и его численность снизились очень заметно, а к середине 1980-х годов группировка вида сохранилась только двумя небольшими очагами в Анивском и Долинском районах Сахалина. Биолог-охотовед Ю. П. Еремин [11] пишет, что на юге острова антропогенный пресс на природную среду был выражен заметно сильнее, чем в других местах, поскольку здесь находились крупные населенные пункты. Кроме того, после акклиматизации на Сахалине американской норки, она начала интенсивно расселяться по биотопам, занятым ранее японским колонком, и входить с ним в конкурентные отношения. Зоолог Г. А. Воронов [8], [9] предполагает, что на Сахалине популяция итатси подвергалась сильному воздействию двух активных конкурентных видов: на лесных участках – соболя, а по берегам рек – норки.

В работе А. И. Здорикова [12] также высказано мнение о том, что американская норка является основной причиной падения численности колонка в угодьях. По его предположению, возможное агрессивное поведение крупных самцов норки при встречах с более мелкими даже взрослыми самками итатси (вес 200–280 г) приводит к их гибели. В результате этого, считает автор, японский колонкок «начал быстро терять важное репродуктивное звено популяции – своих самок», что не могло не отразиться на биологической продуктивности вида.

По нашему мнению, ни соболь, ни американская норка не могут оказывать столь значимого негативного влияния на популяцию итатси, при котором его запасы могли бы опуститься до критически низкого уровня. Надежных данных о постоянном преследовании и гибели японских колонков от конкурентов или драк между ними (хотя бы по следам на снегу) не имеется. Богатая водная система на острове, обилие разнообразных кормов (прежде всего крыс, мышей, полевок, рыбы) и удобных, хорошо защищенных густой растительностью убежищ резко снижают уровень конкурентных взаимоотношений между видами. При этом следует отметить, что на о. Хоккайдо до настоящего времени норку и итатси в долинах рек можно встретить в одних и тех же биотопах.

О слабой конкуренции рассматриваемых видов свидетельствуют и многолетние полевые наблюдения Г. А. Воронова [8]. По его данным, в начале 70-х годов в долине р. Сусуя с притоками на 10 км² угодий, примыкающих к 3-километровому участку русла реки или ручья, в среднем встречалась 1 особь итатси. Но наряду с этим в других местах Сусунайской долины (в том числе и в местах совместного обитания с американской норкой) плотность его населения была столь высокой, что составляла 3–4 особи на 1 км².

Специальные работы по оценке состояния запасов японского колонка не проводились. Расчеты, выполненные с учетом площадей, занятых акклиматизантом, и средней плотности населения зверька в бассейне модельных водотоков, позволили предположить, что к 1976 году на Сахалине сохранились примерно 500–700 особей этого хищника [8].

В 1971 году японский колонок был исключен из числа видов, отнесенных к объектам охоты на территории Сахалинской области. Однако интенсивное промысловое освоение в 70–80-х годах запасов норки, соболя, лисы, ондатры и других пушных видов приводило и к гибели итатси, что не могло не отразиться негативно на его популяции. Численность зверька всюду снизилась, а оценка состояния запасов вида в районах организована не была. В 2000 году японского колонка внесли в Красную книгу.

Осенью 2008, 2011 и 2012 годов мне вместе с сотрудниками Зоологического института РАН удалось побывать в южной части Сахалина на полевых работах, в том числе и в местах возможного обитания итатси. Нами проводилось обследование ряда водотоков в Южно-Сахалинском, Холмском и Долинском районах. Густой растительный покров в долинах рек, большое количество необходимых убежищ и кормовых объектов создают здесь благоприятные условия для обитания мелких хищников. Только за 4 дня стоянки на р. Яблочная нам трижды пришлось наблюдать бегающих по песку вдоль берега американских

норок. Их следы постоянно встречались на песчаных косах и заиленных участках бассейна этого водотока. По нашим ориентировочным расчетам, предпромысловая плотность населения норки достигала здесь 6–7 особей на 10 км русла реки. В то же время обнаружить итатси или следы его жизнедеятельности на этой реке и других обследованных водотоках не удалось. Не получили мы подтверждений и о его встречаемости в угодьях при расспросах местных охотников.

При встречах с сотрудником Института морской геологии и геофизики ДВО РАН (ИМГГ) Г. А. Вороновым в 2008 году он сообщил, что, по его мнению, единичные особи итатси если и сохранились на территории Южного Сахалина, то скорее всего в Долинском районе, в пойме р. Найба.

Наш осмотр коллекции черепов, хранящихся в фондах этого института, показал, что в 50–70-х годах японского колонка отлавливали преимущественно в Южно-Сахалинском районе (окрестности пос. Ново-Александровский, береговая зона р. Красносельская, а также окраины г. Южно-Сахалинска) и в Долинском районе (окрестности пос. Стародубское, долины рек Такой и Сусуя). Реже его добывали в Поронайском и Холмском районах (побережье рек Ожидаевка и Конуеппи). Последний достоверный случай отлова зверька, череп которого хранится в коллекции ИМГГ, относится к ноябрю 1980 года, когда взрослая самка попала в капкан, поставленный на норку в Долинском районе на р. Излучная.

В августе – сентябре 2008 года мне представилась возможность побеседовать с охотниками промыслового направления С. И. Малыгиным и С. А. Пискуновым (пос. Сокол Долинского района). По их наблюдениям, наиболее высокая численность итатси в 60-х годах отмечалась прежде всего на мелких ручьях, между пос. Луговой и Ново-Александровский (Южно-Сахалинский район). В бассейнах рек Сусуя, Такой и Найба она продолжала оставаться на сравнительно высоком уровне до 1975 года. Затем зверек стал исчезать, и в настоящее время следы его жизнедеятельности в характерных для вида угодьях не прослеживаются. Об этом же сообщали нам и другие охотники, выезжающие на промысел в глухие места юго-восточной части о. Сахалин (р. Айка, устье р. Найба, ручьи, впадающие в оз. Лебяжье, и др.).

По свидетельству Ф. А. Малыгина, который уже много лет работает на пункте приема пушнины в г. Южно-Сахалинске, шкурки итатси среди сданной продукции позднее 1976–1978 годов ему не встречались. За промысловые сезоны 2006 и 2007 годов в заготовительную фирму ООО «Ханта» из мелких куньих поступали шкурки соболя, американской норки и 6 горностаев, но ни одной японского колонка.

В беседах с опытным охотником С. А. Пискуновым удалось выяснить, что последний раз он наблюдал итатси в апреле 1988 года на одном из притоков р. Такой. Судя по размерам это была самка. Она бегала по берегу реки и, видимо, в поисках грызунов активно обследовала пустоты в кучах камней. Известен также случай, когда в 1998 году охотовед Г. А. Распутин в окрестностях г. Анива (юг о. Сахалин) обнаружил на дороге задавленную машиной самку этого вида.

Интересные сведения о редких встречах с японским колонком приводит также А. И. Здориков [12], который получил информацию о присутствии итатси на Сахалине в январе 1989 года из Долинского района. Здесь следы самца этого вида наблюдали в пойме среднего течения

р. Излучная, на территории расположенных там дачных участков. В другом сообщении имелись сведения о непреднамеренном отлове в декабре 1991 года кочующей самки в среднем течении реки Чеховка Холмского района. Кроме того, в период с ноября 1994 по февраль 1999 года следы жизнедеятельности еще как минимум двух зверьков А. И. Здориков ежегодно встречал в нижнем течении р. Средняя и ручья Болотный, южнее села Троицкое Анивского района Сахалина. Последний раз следы самца итатси он наблюдал на незамерзающем дренажном канале с проточной водой в черте г. Южно-Сахалинска 15 ноября 2000 года.

Другие факты, свидетельствующие о присутствии в последние годы японского колонка на о. Сахалин, нам не известны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов А. В. О систематическом положении японского колонка, *Mustela itatsi* (Carnivora, Mustelidae) // Зоологический журнал. 2000. Т. 79. № 1. С. 80–88.
2. Аристов А. А., Барышников Г. Ф. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Хищные и ластоногие. СПб., 2001. 560 с.
3. Беньковский Л. М. О морфологических признаках колонка итатси на Сахалине // Бюл. Моск. о-ва испыт. природы. Отд. биол. 1971. Т. 76. Вып. 2. С. 44–51.
4. Беньковский Л. М. О питании итатси на Сахалине // Экология. 1971. № 1. С. 87–90.
5. Беньковский Л. М. Расселение колонка-итатси (*Mustela sibiricus itatsi* Nemminck) // Териология. Т. 2. Новосибирск: Наука, 1974. С. 303–305.
6. Беньковский Л. М. Особенности итатси на Сахалине // Редкие виды млекопитающих и их охрана: Материалы II Всесоюзн. совещ. М.: Наука, 1977. С. 107–108.
7. Войлочников А. Т. Колонок. Дальний Восток // Колонок, горностай, выдра. М.: Наука, 1977. С. 51–70.
8. Воронов Г. А. Аклиматизация млекопитающих на Сахалине и Курильских островах (итоги и перспективы). М.: Наука, 1982. 133 с.
9. Воронов Г. А. Млекопитающие // Красная книга Сахалинской области. Южно-Сахалинск, 2000. С. 8–26.
10. Графодатский А. С., Терновская Ю. Г. и др. G и S окраска хромосом итатси, или японского колонка – *Mustela itatsi* (Carnivora, Mustelidae) // Зоологический журнал. 1979. Т. 58. Вып. 10. С. 1607–1608.
11. Ерёмин Ю. Пушные звери Сахалинской области // Охота и охотничье хозяйство. 2005. № 7. С. 8–11.
12. Здориков А. И. О причинах исчезновения популяции итатси *Mustela (Kolonomus) sibirica itatsi* на Сахалине // Вестник Сахалинского музея. Южно-Сахалинск, 2011. № 18. С. 333–337.
13. Перелешин С. Д. Своеобразный зверек южного Сахалина – итатси // Бюллетень МОИП. 1957. Т. 62. Вып. 6. С. 67–68.
14. Строганов С. У. Японский колонок, или итатси, на Сахалине // Изв. Сиб. отд. АН СССР. 1960. № 3. С. 116–121.
15. Строганов С. У. Звери Сибири. Хищные. М.: Наука, 1962. 458 с.
16. Терновский Д. В., Терновская Ю. Г. Экология кунцеобразных. Новосибирск: Наука, 1994. 200 с.
17. Туманов И. Л. Редкие хищные млекопитающие России (мелкие и средние виды). СПб.: Бранко, 2009. 446 с.
18. Kurose N., Kaneko I., Abramov A. V. et al. Low genetic diversity in Japanese populations of the Eurasia badger *Meles meles* (Mustelidae, Carnivora) revealed by mitochondrial cytochrome “b” gene sequences // Zoological Science. 2001. Vol. 18. P. 1145–1151.
19. Masuda R., Yoshida M. C. Nucleotide sequence variation of cytochrome “b” genes in three species of weasel *Mustela itatsi*, *Mustela sibirica* and *Mustela nivalis*, detected by improved PCR produce-direct sequencing technique // J. Mammal. Soc. Japan. 1994. Vol. 19. P. 33–43.

Tumanov I. L., Western Branch of the Russian Research Scientific Institute of Hunting Farm and Animal Breeding named after B. M. Zhitkov (St. Petersburg, Russian Federation)

JAPANESE WEASEL ON SAKHALIN ISLAND

Species of Japanese weasel were brought to the south of Sakhalin Island from Japan in 1932. The softlings adapted quickly and later settled comfortably along numerous water streams of the southern regions of the island. This type of species differs from the continent types of softlings by a number of morphological and genetic characteristics. Data on the habitation, nutrition and behavioral habits of the studied animals are provided. Due to unknown reasons, at the beginning of the 1970s, the numerical strength of Japanese weasels inhabiting the island started to decline, and traces of their habitation became rather rare. At present, no reliable data on the softlings' numerical strength on Sakhalin Island are available.

Key words: South Sakhalin, Japanese weasel, dispersal, morphology, nutrition and behavioral characteristic features

REFERENCE

1. Abramov A. V. On systemic conditions of Japanese weasel, *Mustela itatsi* (Carnivora, Mustelidae) [O sistematicheskom polozenii yaponskogo kolonka, *Mustela itatsi* (Carnivora, Mustelidae)]. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 2000. Vol. 79. № 1. P. 80–88.
2. Aristov A. A., Baryshnikov G. F. *Mlekopitayushchie fauny Rossii i sopredel'nykh territoriy. Khishchnye i lastonogie* [Mammals of Russian fauna in cross-border regions. Predators and fin-footed mammals]. St. Petersburg, 2001. 560 p.
3. Ben'kovskiy L. M. On morphological characteristics of weasels inhabiting Sakhalin [O morfologicheskikh priznakakh kolonka itatsi na Sakhaline]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biol.* [Bulletin of the Moscow Scientific Society of Nature Research.]. 1971. Vol. 76. Issue 2. P. 44–51.
4. Ben'kovskiy L. M. On weasels' nutrition in Sakhalin [O pitanii itatsi na Sakhaline]. *Ekologiya* [Ecology]. 1971. № 1. P. 87–90.
5. Ben'kovskiy L. M. On the disperse of the weasel (*Mustela sibiricus itatsi* Nemminck) [Rasselenie kolonka-itatsi (*Mustela sibiricus itatsi* Nemminck)]. *Teriologiya* [Mammology]. Vol. 2. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. P. 303–305.
6. Ben'kovskiy L. M. On characteristic features of weasels in Sakhalin [Osobennosti itatsi na Sakhaline]. *Redkie vidy mlekopitayushchikh i ikh okhrana: Materialy II Vsesoyuzn. soveshch.* [Rare types of mammal and their protection: Materials of the second all-union conference]. Moscow, Nauka Publ., 1977. P. 107–108.
7. Voylochnikov A. T. The weasel. Far East [Kolonok. Dal'nij Vostok]. *Kolonok, gornostay, vydra* [Weasel, ermine, otter]. Moscow, Nauka Publ., 1977. P. 51–70.
8. Voronov G. A. *Akklimatizatsiya mlekopitayushchikh na Sakhaline i Kuril'skikh ostrovakh (itogi i perspektivy)* [Acclimatization of mammals on Sakhalin and Kuril Islands (results and perspectives)]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 133 p.
9. Voronov G. A. Mammals [Mlekopitayushchie]. *Krasnaya kniga Sakhalinskoy oblasti* [Red book of Sakhalin region]. Yuzhno-Sakhalinsk, 2000. P. 8–26.
10. Grafodatskiy A. S., Ternovskaya Yu. G. i dr. Coloring by Japanese weasel chromosome - *Mustela itatsi* (Carnivora, Mustelidae) [GiS okraska khromosom itatsi, ili yaponskogo kolonka - *Mustela itatsi* (Carnivora, Mustelidae)]. *Zoologicheskij zhurnal* [Zoological journal]. 1979. Vol. 58. Issue 10. P. 1607–1608.
11. Eremin Yu. Furry animals of Sakhalin area [Pushnye zveri Sakhalinskoy oblasti]. *Okhota i okhotnich'e khozyaystvo* [Hunting and hunting farms]. 2005. № 7. P. 8–11.
12. Zdorikov A. I. On the reasons of the weasel *Mustela* disappearance on Sakhalin Island [O prichinakh ischeznoeniya populyatsii itatsi *Mustela (Kolonocus) sibirica itatsi* na Sakhaline]. *Vestnik Sakhalinskogo muzeya* [Newsletter of Sakhalin museum]. Yuzhno-Sakhalinsk, 2011. № 18. P. 333–337.
13. Pereleshin S. D. A unique softling of the South Sakhalin – the weasel [Svoeobraznyy zverek yuzhnogo Sakhalina – itatsi]. *Byulleten' MOIP* [Bulletin of MOIP]. 1957. Vol. 62. Issue 6. P. 67–68.
14. Stroganov S. U. Japanese weasel on Sakhalin Island [Yaponskiy kolonok, ili itatsi, na Sakhaline]. *Izvestiya Sib. otd. AN SSSR* [Newsletter of Siberian department of the USSR Academy of Science]. 1960. № 3. P. 116–121.
15. Stroganov S. U. *Zveri Sibiri. Khishchnye* [Animals of Siberia. Predators]. Moscow, Nauka Publ., 1962. 458 p.
16. Ternovskiy D. V., Ternovskaya Yu. G. *Ekologiya kunitseobraznykh* [Ecology of weasels]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1994. 200 p.
17. Tumanov I. L. *Redkie khishchnye mlekopitayushchie Rossii (melkie i srednie vidy)* [Rare predatory mammals of Russia (small and medium size species)]. St. Petersburg, Branko Publ., 2009. 446 p.
18. Kurose N., Kaneko I., Abramov A. V. et al. Low genetic diversity in Japanese populations of the Eurasia badger *Meles meles* (Mustelidae, Carnivora) revealed by mitochondrial cytochrome “b” gene sequences // *Zoological Science*. 2001. Vol. 18. P. 1145–1151.
19. Masuda R., Joshida M. S. Nucleotide sequence variation of cytochrome “b” genes in three species of weasel *Mustela itatsi*, *Mustela sibirica* and *Mustela nivalis*, detected by improved PCR produce-direct sequencing technique // *J. Mammal. Soc. Japan*. 1994. Vol. 19. P. 33–43.

Поступила в редакцию 20.06.2014

АЛЕКСЕЙ НИКОЛАЕВИЧ ПАРШУКОВ

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории паразитологии животных и растений, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
ecologya84@gmail.com

НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА СИДОРОВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры фармакологии, организации и экономики фармации, микробиологии и гигиены медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vanlis@petrsu.ru

МИКРОБИОЦЕНОЗ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В САДКОВЫХ ХОЗЯЙСТВАХ СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ

Особенности состава микрофлоры характеризуют физиологический статус разводимых рыб и условия содержания их в садках. При этом у рыб, находящихся в тесном контакте с водой, бактериальная обсемененность внешних и внутренних органов будет зависеть от количества и качества микроорганизмов вокруг. Массовое развитие водных сапрофитных бактерий является стрессовым фактором, на борьбу с которым у рыб затрачиваются дополнительные ресурсы. На фоне неблагоприятных условий обитания снижаются защитные силы организма и появляются различные инфекционные заболевания. Впервые изучены закономерности качественного и количественного распределения микроорганизмов в микробиоценозе радужной форели и водной среды в отдельных форелевых хозяйствах Карелии. Установлено доминирование условно-патогенных бактерий рода *Pseudomonas*. Анализ состава микробиоценоза рыб демонстрирует высокую значимость полученных данных и возможность их применения в качестве индикаторных тестов для выявления изменений динамического равновесия бактериальной флоры рыб и естественных водных экосистем.

Ключевые слова: аквакультура, радужная форель, микробиоценоз, *Pseudomonas*

ВВЕДЕНИЕ

В Карелии широкое распространение получило садковое рыбоводство – направление аквакультуры, где производится выращивание радужной форели [11]. Форелевые хозяйства служат своеобразным типом местообитания для аллохтонных микроорганизмов, поступающих с кормом, а также с разводимой рыбой и продуктами ее метаболизма [2], а загрязнение органического происхождения приводит к структурно-функциональным изменениям в составе местной микрофлоры [13].

Негативное влияние симбионтного взаимодействия микроорганизмов с рыбой способствует бурному развитию ассоциаций бактерий, повышающих свои патогенные свойства. Динамика симбионтов в таких условиях постоянно меняется и заложена в высоком адаптационном потенциале как рыбы, так и бактерии. Благодаря высокой приспособляемости к агрессивным факторам среды усиливается ферментная активность бактерий, в результате чего симбионтные отношения в системе меняются в сторону доминирующих групп.

Таким образом, бактериальные показатели приобретают важное индикаторное значение,

позволяя выявить различные источники и типы антропогенного воздействия [1], [9].

Эффективность методов микробиологического анализа при мониторинге водоемов рыбохозяйственного назначения доказана на примере исследований, проводимых в Мурманской области [4]. Учитывая слабую изученность микрофлоры радужной форели в садковых хозяйствах Карелии, подобные исследования даже по одному из таких водоемов представляют научный и практический интерес.

Цель работы – изучение микробиоценоза радужной форели из садковых хозяйств на севере Карелии, работающих в течение одного года. Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Определить таксономический состав микрофлоры радужной форели в садковых хозяйствах на севере Карелии с небольшим периодом работы.
2. Дать численную характеристику гетеротрофных бактерий в микрофлоре рыб.
3. Изучить возможность применения бактериальных показателей для оценки степени структурно-функциональных изменений в составе микрофлоры форели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб на рыбоводных предприятиях проведен в период с апреля по сентябрь 2008–2009 годов согласно определенной нормативно-технической документации, содержащей необходимые требования, нормативы качества и методы исследования [10]. С помощью бактериологических методов изучен микробиоценоз радужной форели (*Parasalmo mykiss irideus*), выращиваемой на форелевых хозяйствах Карелии в акватории озер Хедо и Муй (система реки Кемь, бассейн Белого моря).

Для выделения бактерий и их дальнейшего изучения у живой рыбы стерильно получены образцы кожи и жабр. Далее проведены посевы на плотные питательные среды общего (рыбо-пептонный агар, рыбо-пептонный бульон), специального (Эндо, Пешкова) и дифференциально-диагностического (Кесслера – для обнаружения бактерий группы кишечной палочки) назначения для изучения морфологических, культуральных и биохимических свойств бактерий. Дополнительно использованы среды: висмут-сульфит агар – для обнаружения бактерий, образующих сероводород (сальмонеллы); Плоскирева и Левина – для выявления не разлагающих лактозу патогенных бактерий семейства *Enterobacteriaceae*; Сабуро – для селективного выделения дрожжеподобных и плесневых грибов.

Для описания морфологических свойств бактерий мазки окрашены по Граму, а затем исследованы при помощи светового микроскопа с иммерсией. Подвижность бактерий фиксирована при фазоконтрастном микроскопировании и по росту на полужидкой (0,3–0,7% агара) среде. Гемолитическая активность бактерий проверена по гемолизу на чашках Петри с 5%-м кровяным агаром. Для дифференциации представителей рода *Pseudomonas* от бактерий сходных с ними родов определена оксидазная активность культуры, способность расщеплять глюкозу и тип дыхания микроорганизмов в среде Хью-Лейфсона (тест окисления-ферментации).

Для установления систематической принадлежности изучаемых микроорганизмов использован определитель [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В формировании микробиоценоза форели, разводимой в хозяйствах с периодом работы один год (озера Муй и Хедо), участвуют 5 групп бактерий, представленных 8 семействами и 5 родами. Диапазон изменений количественных показателей гетеротрофов варьирует в пределах от 10^1 до 10^3 КОЕ/мл. Выделенные ассоциации микроорганизмов состоят как из сапрофитных, так и из условно-патогенных бактерий.

В результате анализа данных по бактериальной обсемененности кожных покровов и жабр молоди радужной форели из озера Муй в 2008–

2009 годах достоверно выявлено ($P < 0,05$), что на коже максимальная численность бактерий (302 ± 113 КОЕ/мл) соответствует периоду май 2009 года (температура воды – $6,5^\circ\text{C}$), минимальная (18 ± 4 КОЕ/мл) – декабрь 2008 года ($1,4^\circ\text{C}$). На жабрах максимальная численность бактерий (1533 ± 62 КОЕ/мл) соответствует периоду сентябрь 2008 года ($11,7^\circ\text{C}$), минимальная (47 ± 20 КОЕ/мл) – декабрь 2008 года ($1,4^\circ\text{C}$) (рис. 1).

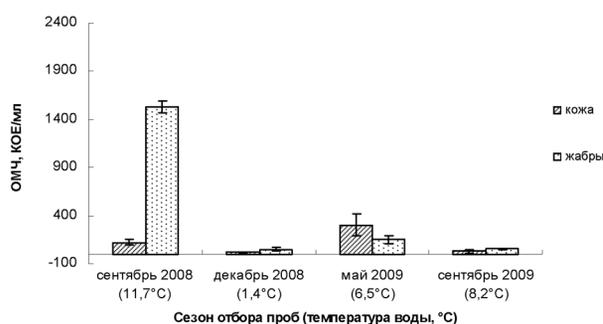


Рис. 1. Бактериальная обсемененность кожных покровов и жабр у форели (озеро Муй)

Полученные данные согласуются с общим представлением о том, что температурный фактор определяет интенсивность всех микробиологических процессов в воде, в том числе значение показателей численности [12], где невысокая бактериальная обсемененность совпадает с наступившим в это время холодным сезоном года (декабрь). Весенний подъем численности микробного числа характеризует прогревание водоема до благоприятных температур. Для рыбных хозяйств приведенные данные могут означать следующее: нетипичное низкое обсеменение в летний и осенний периоды, когда развитие бактериопланктона достигает своих максимальных значений, следует рассматривать как сигнал неблагоприятного влияния на водоем со стороны самого предприятия, например из-за применяющихся в лечении рыб антибактериальных препаратов широкого спектра действия и др. Так, к примеру, анализ проб воды из садка на одном из форелевых хозяйств в южной части Карелии в летний период позволил определить численность, не превышающую 10^1 КОЕ/мл.

В период наиболее высокой численности бактерий в воде (сентябрь 2008 года) кожа рыб контаминирована незначительно – 123 ± 30 КОЕ/мл, в то время как на жабрах отмечена максимально высокая бактериальная численность – 1533 ± 62 КОЕ/мл. В течение всего исследования жабры были более обсемененными, чем кожа ($P < 0,05$). В сентябре 2008 года на жабрах грамположительная микрофлора (66,7%) доминирует над грамотрицательной (33,3%). По литературным данным [17], микробное число на жабрах может варьировать в широких пределах с 6×10^2 до $2,2 \times 10^6$. Считаем, что в сентябре 2008 года у исследованной

группы рыб была превышена численность бактерий $1,5 \times 10^3$ КОЕ/мл по сравнению с остальными сезонами. Причиной тому могло послужить внешнее повреждение жаберного эпителия в результате воздействия различных стрессовых факторов – загрязнение воды органическими веществами, скученность, низкое содержание кислорода, повышенное количество аммиака, сортировка рыбы [8]. Известно, что бактериальная обсемененность кожных покровов и жабр, а также внутренних органов тесным образом связана с условиями содержания рыб в садках. При неудовлетворительном состоянии воды из-за применяемых мер по интенсификации производства повышается уровень бактериального загрязнения. Одна из причин – высокая плотность посадки рыб, которая способствует поступлению в водоем большого количества продуктов их метаболизма (органическое вещество), а несъеденные остатки корма только дополняют картину [1], [2], [6]. К примеру, из литературы известно, что на одном из рыбоводных хозяйств у карпа отмечалась значительная обсемененность покровов и органов, вызванная изначальным пребыванием посадочного материала в условиях предприятия с проводимыми на нем интенсификационными мероприятиями [5]. Не исключена также возможность инвазии тканей жаберного аппарата. К примеру, по результатам паразитологических и микробиологических исследований промысловых рыб дельты Волги [8] было установлено, что на фоне увеличения интенсивности инвазии наблюдалось повышение численности бактерий у рыб, однако качественные характеристики микробиоценоза оставались неизменными и соответствовали составу окружающей водной среды.

В ходе исследований установлено, что качественный состав микробиоценоза молоди форели из озера Муй представлен 7 семействами (*Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Micrococcaceae*, *Listeriaceae*, *Vibrionaceae*, *Bacillaceae*, *Neisseriaceae*), 4 родами (*Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Listeria*). В целом полученные результаты соответствуют литературным данным. По сообщениям ряда авторов, в составе микрофлоры рыб часто встречаются условно-патогенные микроорганизмы, среди которых представители семейств *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas*), *Vibrionaceae* (род *Aeromonas*) и *Enterobacteriaceae* [1], [2], [3], [6], [14]. На коже и жабрах распространены бактерии родов *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Citrobacter*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus* [15], [16].

У исследованных рыб на коже доминируют представители семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas* – 79,2%). Выделенные штаммы – прямые палочки, окрашиваются по Граму отрицательно, обладают подвижностью. Аэробы,

метаболизм чисто дыхательного типа (тест О/Ф в среде Хью-Лейфсона). Оксидазо- и каталазоположительные, не декарбоксилируют лизин и орнитин. Вторыми по частоте встречаемости являются бактерии из семейства *Enterobacteriaceae* (8,3%) – прямые палочки, грамотрицательные. Обладают и дыхательным, и бродильным типом метаболизма (среда Хью-Лейфсона). Оксидазо-отрицательные. Остальные группы *Vibrionaceae*, *Bacillaceae* (род *Bacillus*) и *Listeriaceae* (род *Listeria*) выделяются с одинаковой частотой (4,2%). На жабрах микробиоценоз в основном представлен бактериями из семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas* – 72,7%), затем следуют представители семейства *Enterobacteriaceae* (9,1%), а семейства *Bacillaceae* (род *Bacillus*), *Micrococcaceae* (род *Micrococcus*), *Listeriaceae* (род *Listeria*) и *Neisseriaceae* составляют по 4,5% соответственно.

Во все периоды отбора проб на молоди форели из озера Муй доминирующее положение занимали представители семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas*).

Осенью 2008 года на долю псевдомонад приходится 50%, а к концу года – 76,5%. К весне 2009 года количество псевдомонад возрастает до 77,8%, а к осени 2009 года они полностью (100%) составляют микробиоценоз рыб, потеснив остальных представителей (рис. 2).

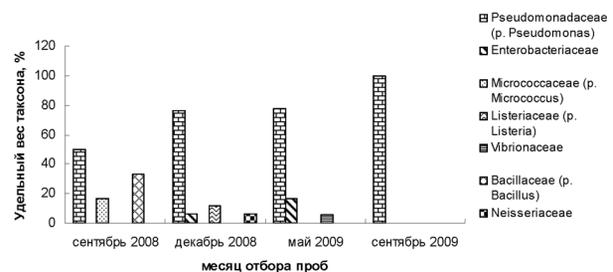


Рис. 2. Сезонная встречаемость бактерий на коже и жабрах форели (озеро Муй)

Для псевдомонад зарегистрирован максимальный коэффициент Симпсона (С), который составляет от 0,25 до 1. Сопутствующая псевдомонадам микрофлора меняется в сезон. В сентябре 2008 года представлены семейства *Bacillaceae* (род *Bacillus* – 33,3%) и *Micrococcaceae* (род *Micrococcus* – 16,7%) с коэффициентами Симпсона 0,11 и 0,028 соответственно. В декабре 2008 года встречаются представители семейства *Enterobacteriaceae* (5,9%, коэффициент 0,003), и только в этот период, когда покровы рыб сильно загрязнены грибами, выявлены представители семейств *Neisseriaceae* и *Listeriaceae* (род *Listeria*) (5,9% и 11,8% с коэффициентами 0,003 и 0,014). Весной 2009 года впервые появляются бактерии из семейства *Vibrionaceae* (5,6%, коэффициент 0,003).

В микробиоценозе кожи и жабр представители семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas*) в течение года не только доминируют над остальными бактериями, но к сентябрю 2009 года вытесняют их полностью. Доминирование палочковидных форм бактерий у рыб выступает индикатором загрязненности водоема и усиленных процессов эвтрофикации. В начале исследований отмечен высокий удельный вес бактериальных штаммов с гемолитической активностью и подвижностью, что обуславливает их патогенность.

Исходя из этого мы считаем, что подобная видовая сукцессия служит сигналом неблагополучия в экосистеме. Несмотря на то, что псевдомонады относятся к представителям нормальной микрофлоры рыб [6], при определенных условиях, будучи условно-патогенными, вызывают эпизоотии, особенно когда занимают доминирующее положение. Как отмечают исследователи [3], к псевдомонадам восприимчивы большинство видов пресноводных и морских рыб. В условиях бесконтрольного применения антибиотиков на рыбоводных хозяйствах были зафиксированы случаи вспышек псевдомоноза. Особое значение приобрели бактерии *Ps. fluorescens var. capsulata*, которые за счет своей капсулы оказались более устойчивыми к применению антибактериальных препаратов, потеснив многие виды сапрофитных микроорганизмов. В результате псевдомонады прочно заняли доминирующее положение в водоеме, резко ухудшив эпизоотическую ситуацию.

Изучение бактериальной обсемененности кожных покровов и жабр молоди радужной форели из озера Хедо позволяет достоверно ($P < 0,05$) установить, что на коже максимальная численность бактерий (2396 ± 8 КОЕ/мл) соответствует периоду сентябрь 2008 года (температура воды – $11,7^\circ\text{C}$), минимальная (39 ± 12 КОЕ/мл) – сентябрь 2009 года (10°C). На жабрах максимальная численность бактерий (2132 ± 31 КОЕ/мл) соответствует периоду сентябрь 2008 года ($11,7^\circ\text{C}$), минимальная (58 ± 14 КОЕ/мл) – декабрь 2008 года ($1,5^\circ\text{C}$) (рис. 3).

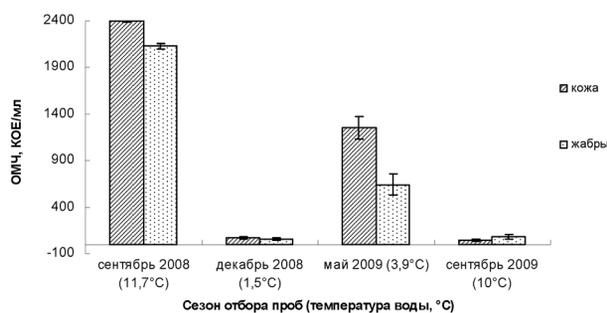


Рис. 3. Бактериальная обсемененность кожных покровов и жабр у форели (озеро Хедо)

Температурный фактор здесь также сыграл ключевую роль в определении уровня обсемененности – небольшая численность отмечена в под-

ледный период, с последующим повышением за счет прогревания водоема. В период посадки молоди форели в садки (сентябрь 2008 года) на озере Хедо отмечена наивысшая численность бактерий (более 2 тыс. КОЕ/мл) на коже и жабрах по сравнению с другими сезонами (рис. 3). По нашему мнению, причиной такой разницы могло быть стрессированное состояние, в котором находилась рыба после недавней перевозки. Возможно, этим же объясняется дальнейшее более высокое микробное число в течение исследования у форели из озера Хедо, чем у форели из озера Муй. Низкая численность бактерий (менее 70 КОЕ/мл) выявлена в декабре 2008 года, что соответствует наиболее холодному сезону года (температура воды $1,5^\circ\text{C}$). Однако в сентябре 2009 года при более высокой температуре воды (10°C) установлена такая же низкая бактериальная обсемененность форели, как в декабре 2008 года, но, возможно, уже из-за антропогенного воздействия, поскольку санитарное качество воды к концу исследования становится все менее удовлетворительным. Самые низкие показатели численности зафиксированы в зимний период при температуре воды $1,4^\circ\text{C}$ и осенний 2009 года при температуре воды 10°C .

По результатам исследований получены данные, характеризующие качественный состав микробиоценоза молоди форели из озера Хедо. Микрофлора рыб представлена 6 семействами (*Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Micrococcaceae*, *Listeriaceae*, *Vibrionaceae*, *Saccharomycetaceae*), 3 родами (*Pseudomonas*, *Staphylococcus*, *Listeria*).

В микробиоценозе кожи доминируют представители семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas* – $41,7\%$) – грамотрицательные прямые палочки, подвижные. Аэробы, метаболизм чисто дыхательного типа (тест О/Ф в среде Хью-Лейфсона). Оксидазо- и каталазоположительные, не декарбоксилируют лизин и орнитин. Обладают аргининдегидролазой. Далее идут семейства *Vibrionaceae* (25%) и *Enterobacteriaceae* ($20,8\%$). Доминирующим в микробиоценозе жабр является семейство *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas* – $55,9\%$). Представители семейства *Vibrionaceae* составляют $17,6\%$, а семейства *Enterobacteriaceae* – $11,8\%$.

По результатам сезонной встречаемости бактерий на коже и жабрах молоди форели установлено разнообразие микробиоценоза во все периоды исследования, кроме начального (сентябрь 2008 года), где выделяются исключительно представители семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas* – 100%) (рис. 4).

Значение показателя Симпсона у псевдомонад в сентябре 2008 года составляет 1 (для *Ps. aeruginosa* и *Ps. alcaligenes* $C = 0,005$; *Ps. stutzeri* $C = 0,08$; *Ps. syringae* $C = 0,02$; для остальных псевдомонад $C = 0,184$). В остальные сезоны (декабрь

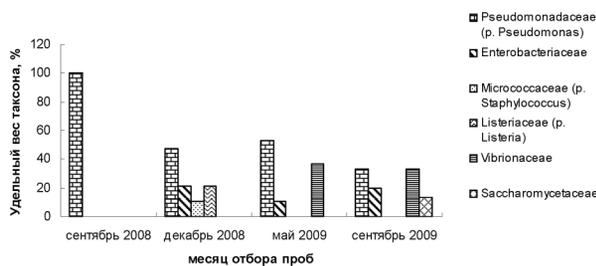


Рис. 4. Сезонная встречаемость бактерий на коже и жабрах форели (озеро Хедо)

2008 – сентябрь 2009), наряду с псевдомонадами (декабрь 2008 год – 47,4%; май 2009 года – 52,6%; сентябрь 2009 года – 33,3%), встречаются представители семейства *Enterobacteriaceae* (декабрь 2008 года – 21,1%; май 2009 года – 10,5%; сентябрь 2009 года – 20%). В мае и сентябре 2009 года стабильно присутствуют бактерии семейства *Vibrionaceae* (удельный вес 36,8 и 33,3% соответственно). Бактерии семейств *Micrococcaceae* (род *Staphylococcus*) и *Listeriaceae* (род *Listeria*) обнаружены лишь в декабре 2008 года (коэффициенты Симпсона 0,011 и 0,044).

В начале исследований удельный вес бактериальных штаммов с гемолитической активностью и подвижностью отмечен как самый высокий, что обуславливает их патогенность, а в микробиоценозе форели установлено видовое однообразие, где доминируют только представители семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas*), дополнительно указывая на негативную ситуацию в акватории. Похожая картина отмечена для микрофлоры форели из озера Муй, где также преобладают псевдомонады и отмечена их эпизоотическая и экологическая роль.

Таким образом, определена наиболее низкая бактериальная обсемененность молоди форели из водоема Муй, где посадка малька производи-

лась на несколько месяцев раньше, чем у рыб из водоема Хедо. Качественный состав микробиоценоза более разнообразен у форели, выпущенной в садки раньше (озеро Муй), и отличается присутствием представителей семейств *Vibrionaceae*, *Bacillaceae* и *Neisseriaceae*. Схожими составы оказываются в семействах *Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Micrococcaceae* и *Listeriaceae*. В микрофлоре рыб доминируют представители семейства *Pseudomonadaceae* (род *Pseudomonas*), но больше их отмечено для форели из озера Муй (76,1%), чем из озера Хедо (58,5%).

ВЫВОДЫ

Анализ полученных материалов показал, что таксономический состав микрофлоры рыб представлен 8 семействами (*Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Vibrionaceae*, *Neisseriaceae*, *Micrococcaceae*, *Bacillaceae*, *Listeriaceae*, *Saccharomycetaceae*), 5 родами бактерий (*Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Listeria*).

На изученных форелевых фермах в микробиоценозе радужной форели доминируют условно-патогенные бактерии семейства *Pseudomonadaceae* рода *Pseudomonas*. При создании неблагоприятных условий для макроорганизма они могут повышать свою вирулентность и способны инфицировать стрессированную (ослабленную) рыбу.

Численность бактерий на коже и жабрах радужной форели из хозяйств с периодом работы около одного года (озеро Муй и Хедо) варьирует в пределах 10^1 – 10^3 КОЕ/мл при разных сезонных условиях среды и особенностях рыбоводных техник. Это отражает высокую значимость температурного фактора в развитии бактериопланктона и индикаторной роли значений численности микроорганизмов для определения качества водной среды и эффективности проводимых профилактических мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бычкова Л. И. Микробиоценоз радужной форели (*Oncorhynchus mykiss Walbaum*) и водной среды при садковом выращивании: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 2002. 27 с.
- Бычкова Л. И., Юхименко Л. Н., Можарова А. И. Микробиоценоз как индикатор экологического состояния водной среды и рыбы // Проблемы охраны здоровья рыб в аквакультуре: Тез. докл. научно-практической конф. М., 2000. С. 42–43.
- Головина Н. А., Стрелков Ю. А., Воронин В. Н., Головин П. П., Евдокимова Е. Б., Юхименко Л. Н. Ихтиопатология / Под ред. Н. А. Головиной, О. Н. Бауера. М.: Мир, 2003. 448 с.
- Карасева Т. А. Проблемы здоровья рыб в аквакультуре Севера России: на примере Кольского полуострова: Дисс. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2003. 168 с.
- Котлячук М. Ю. Микробный пейзаж карпа (*Cyprinus carpio L.*) при выращивании в установке с замкнутым циклом водообеспечения: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Калининград, 2004. 23 с.
- Коне Н. В. Нормальная микрофлора рыб и ее роль в возникновении бактериальных заболеваний, вызванных стрессом: Научные тетради. СПб.: ГосНИОРХ, 1996. Вып. № 4. 46 с.
- Определитель бактерий Берджи: В 2 т. / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса. М.: Мир, 1997. 368 с.
- Проскурина В. В., Лисицкая И. А. Паразиты и микрофлора промысловых рыб дельты реки Волга и их патогенное влияние на представителей ихтиофауны // Рыбное хозяйство. 2007. № 3. С. 69–71.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 319 с.
- Руководство по проведению ветеринарного контроля над болезнями рыб и отбору проб для рыбоводных хозяйств северо-запада России / П. Коски. Оулу, 2006. 42 с.
- Рыжков Л. П., Нечаева Т. А., Евсеева Н. В. Садковое рыбоводство – проблемы здоровья рыб. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 120 с.

12. Семушин А. В. Экология гетеротрофного бактериопланктонного сообщества прибрежных поверхностных вод Соловецкого архипелага: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2003. 138 с.
13. Широкова Л. С. Пространственно-временная структура бактериопланктона и его роль в самоочищении малых озер Архангельской области: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2007. 189 с.
14. Юхименко Л. Н., Койдан Г. С., Бычкова Л. И., Смирнов Л. П. Биологические свойства аэромонад и их роль в патологии рыб // Рыбное хозяйство. Сер. Болезни гидробионтов в аквакультуре. 2001. Вып. 1. С. 1–10.
15. Buller N. B. Bacteria from fish and other aquatic animals: a practical identification manual. Cambridge, 2004. 361 p.
16. Cahill M. M. Bacterial flora of fishes: a review // Microbial Ecology. 1990. Vol. 19. № 1. P. 21–41.
17. Trust T. J. Bacteria associated with the gills of salmonid fishes in freshwater // Applied bacteriology. 1975. Vol. 38. P. 225–233.

Parshukov A. N., Institute of Biology of Karelian Research Center of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

Sidorova N. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

MICROBIOCENOSIS OF CAGE FARM RAINBOW TROUT IN NORTHERN KARELIA

Unique features of the microflora structure characterize current physiological status of the fish farmed in cages and of their farming conditions. Whilst fish is in close contact with water, bacterial contamination of the fish external and internal organs depends on the quality and quantity of microorganisms around. The mass growth of aquatic saprophytic bacteria is a stress factor, and the fish spends its vital resources to fight it. Due to the adverse environmental conditions, the body resistance of the fish decreases and a variety of infectious diseases appear. For the first time, regularities of qualitative and quantitative distributions of microorganisms in the microbiocenosis of the rainbow trout and water pollution in some trout farms in Karelia are studied. It was established that the opportunistic bacteria of the genus *Pseudomonas* are dominant in the rainbow trout. Analysis of the fish microbiocenosis composition revealed how important are the obtained data. It also helped to substantiate their possible use as a screening test to detect changes in dynamic equilibrium of the fish bacterial flora and in natural aquatic ecosystems.

Key words: aquaculture, rainbow trout, microbiocenosis, *Pseudomonas*

REFERENCES

1. Bychkova L. I. *Mikrobiotsenoz raduzhnoy foreli (Oncorhynchus mykiss Walbaum) i vodnoy sredy pri sadkovom vyrashchivanii: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Microbiocenosis rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) and the water in cage culture. Author's thesis. Cand. biol. sci. diss]. Moscow, 2002. 27 p.
2. Bychkova L. I., Yuchimenko L. N., Mozharova A. I. Microbiocenosis as an indicator of the ecological state of the aquatic environment and fish [Mikrobiotsenoz kak indikator ekologicheskogo sostoyaniya vodnoy sredy i ryby]. *Problemy okhrany zdorov'ya ryb v akvakul'ture: Tez. dokl. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of the fish health in aquaculture: Thesis of reports of scientific and practical conference]. Moscow, 2000. P. 42–43.
3. Golovina N. A., Strelkov Yu. A., Voronin V. N., Golovin P. P., Evdokimova E. B., Yuchimenko L. N. *Ikhtiopatologiya* [Ichthyopathology] / Ed. N. Golovinoy, O. N. Bauera. Moscow, 2003. 448 p.
4. Karaseva T. A. *Problemy zdorov'ya ryb v akvakul'ture Severa Rossii: na primere Kol'skogo poluostrova: Diss. ... kand. biol. nauk* [Fish health problems in aquaculture northern Russia: the case of the Kola Peninsula. Diss. ... Cand. biol. sci. diss]. Murmansk, 2003. 168 p.
5. Kotlyarchuk M. Yu. *Mikrobnyy peyzazh karpa (Cyprinus carpio L.) pri vyrashchivanii v ustanovke s zamknutym tsiklom vodoobespecheniya: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Microbial landscape of carp (*Cyprinus carpio* L.) when grown in installing closed-cycle water. Author's thesis. Cand. biol. sci. diss.]. Kaliningrad, 2004. 23 p.
6. Konev N. V. *Normal'naya mikroflora ryb i ee rol' v vozniknovenii bakterial'nykh zabolevaniy, vyzvannykh stressom* [Normal microflora of fish and its role in the occurrence of bacterial diseases caused by stress: Scientific Notebook]. St. Petersburg, GosNIORKh Publ., 1996. Issue № 4. 46 p.
7. *Opredelitel' bakteriy Berdzhii* [Determinant of Bergey bacteria]. In 2 vol. / Ed. J. Holt, N. Krieg, P. Sneath, J. Staley, S. Williams. Moscow, 1997. 368 p.
8. Proskurina V. V., Lisitskaya I. A. Parasites and microflora of commercial fish of the Volga River delta and their pathogenic effect on ichthyofauna [Parazity i mikroflora promyslovykh ryb del'ty reki Volga i ikh patogennoe vliyanie na predstaviteley ikhtiofauny]. *Rybnoe khozyaystvo*. 2007. № 3. P. 69–71.
9. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* [Guide of hydrobiological monitoring of the freshwater ecosystems] / Ed. V. A. Abakumov. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992. 319 p.
10. *Rukovodstvo po provedeniyu veterinarnogo kontrolya nad boleznyami ryb i otboru prob dlya rybovodnykh khozyaystv severozapada Rossii* [Guidelines for veterinary disease control and sampling of fish for fish farms in north-west Russia] / P. Koski. Oulu, 2006. 42 p.
11. Ryzhkov L. P., Nechaeva T. A., Evseyeva N. V. *Sadkoe rybovodstvo – problemy zdorov'ya ryb* [Cage aquaculture – fish health problems]. Petrozavodsk, PSU Publ., 2007. 120 p.
12. Semushin A. V. *Ekologiya geterotrofnogo bakterioplanktonnogo soobshchestva pribrezhnykh poverkhnostnykh vod Solovetskogo arhipelaga: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Heterotrophic bacterioplankton community ecology of coastal surface waters of the Solovetsky Archipelag: Author's thesis. Cand. biol. sci. diss.]. Syktывkar, 2003. 138 p.
13. Широкова Л. С. *Prostranstvenno-vremennaya struktura bakterioplanktona i ego rol' v samoochishchenii malykh ozer Arkhangel'skoy oblasti: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Spatio-temporal structure of bacterioplankton and its role in self-purification of small lakes in Arkhangelsk Region. Author's thesis. Cand. biol. sci. diss.]. Arkhangelsk, 2007. 189 p.
14. Yuchimenko L. N., Koydan G. S., Bychkova L. I., Sмирнов Л. П. Aeromonas biological properties and their role in fish pathology [Biologicheskie svoystva aeromonad i ikh rol' v patologii ryb]. *Rybnoye khozyaystvo. Ser. Bolezni gidrobiontov v akvakul'ture* [The fishing industry. Diseases of aquatic organisms in aquaculture]. 2001. Vyp. 1. P. 1–10.
15. Buller N. B. Bacteria from fish and other aquatic animals: a practical identification manual. Cambridge, 2004. 361 p.
16. Cahill M. M. Bacterial flora of fishes: a review // Microbial Ecology. 1990. Vol. 19. № 1. P. 21–41.
17. Trust T. J. Bacteria associated with the gills of salmonid fish in freshwater // Applied bacteriology. 1975. Vol. 38. P. 225–233.

Поступила в редакцию 26.02.2014

ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА ПИЛИПКО

кандидат биологических наук, доцент кафедры лесного хозяйства факультета агрономии и лесного хозяйства, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина (Вологда, Российская Федерация)

Karlovna@ukr.net

ВЛИЯНИЕ РОЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАБАНА *SUS SCROFA* (L.) НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВЫ ЕЛЬНИКА КИСЛИЧНОГО

Отмечена средообразующая роль кабана (*S. scrofa* L.) на некоторые параметры биогеоценоза посредством его роющей деятельности. Дана оценка влияния данной деятельности кабана на физико-химические параметры почвы. Были использованы стандартные методики маршрутного обследования, визуального исследования и анализ в лабораторных условиях почвенных проб. В результате исследований было выявлено, что роющая деятельность кабана способствует положительной динамике физико-химических и агрохимических показателей почвы, необходимых для эффективного роста и развития растительности, преимущественно травянистой и древесной. Так, в почве под свежими (до 1 месяца) пороями наблюдалось повышение содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия. Наряду с положительной динамикой химических свойств почвы наблюдается и положительное изменение физических почвенных качеств – снижение твердости почвы, повышение влажности и снижение кислотности почвы. Таким образом, семена растений, попадая во взрыхленную почву, обогащенную необходимыми питательными элементами, эффективнее прорастают и быстрее развиваются.

Ключевые слова: кабан (*Sus scrofa* L.), средообразующая роль, роющая деятельность, физико-химические свойства почвы, лесные экосистемы

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая устойчивость экосистем и нормальное их функционирование зависят от действия каждого биотического компонента, который своим существованием образует сложные биотические связи, формирующие структуру и процессы биогеоценоза. От биогеоценозической структуры и функционирования ее составляющих зависит общее состояние отдельных экосистем и естественной среды в целом.

Млекопитающие как элемент зооценоза являются высшей ступенью эволюционного процесса органического мира, который обуславливает их особую роль в формировании сложных консортивных, биогеоценозических и межэкосистемных связей.

Процессы почвообразования занимают важное место в общих проявлениях функционирования в наземных экосистемах. Почва как биокосная система биогеоценоза становится базовой функциональной основой в его образовании и существовании. Она играет чрезвычайно большую биосферную роль, представляет эколого-экономическую ценность и характеризуется значительной впечатлительностью. Главное свойство почвы – ее плодородие – результат сложного процесса почвообразования.

Млекопитающие принимают в почвообразующих процессах активное участие, которое, в частности, заключается в их роющей деятельности

[1], [5], [6], [10], [11], [13]. Такая активность млекопитающих создает условия для интенсификации миграции химических элементов и веществ. При выносе почвы из нижерасположенных грунтовых горизонтов активно привлекаются к круговороту разнообразные макро- и микроэлементы. Роющая деятельность вызывает также рост фитомассы, таким способом увеличивая степень участия автотрофов в почвообразующем процессе [2].

Изучением роли кабана в различных биогеоценозах занимались многие исследователи (Б. Д. Абатуров [1], [2]; В. Л. Булахов [5]; В. П. Вехник, С. В. Саксонов [6]; А. А. Гусев [9]; Л. Г. Динесман [10]; П. Г. Козло [11]; А. Е. Пахомов [13] и др.), но вопрос о влиянии роющей деятельности кабана на динамику физико-химических свойств почв изучен недостаточно. В период интенсивной деятельности различных видов животных, в частности роющей, первичное ее влияние отражается на почвенно-растительном покрове. В связи с этим начата опытная работа по изучению роющей деятельности кабана на такие компоненты экосистемы, как почва и растительность [3]. Результаты исследований в этом направлении позволят в будущем контролировать численность, определять нормы изъятия данного вида для снижения зоогенного прессинга на отдельные компоненты естественных комплексов Вологодской области.

Целью исследования является изучение динамики почвенных параметров ельника кисличного под влиянием роющей деятельности *S. scrofa* (L.) в Белозерском районе Вологодской области.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании роли кабана в функционировании различных компонентов лесных экосистем были использованы как классические, так и современные методические разработки. Основные учеты численности дикого кабана приурочены к зимнему сезону, когда снежный покров позволяет по следам определять количество животных и направление их перемещений. Зимний маршрутный учет проводился в период с 20 января по 15 февраля каждого года. Данные зимнего учета были предоставлены нам Департаментом по охране, контролю и регулированию использования животного мира Вологодской области. Характеристика пробной площади под пороями кабана, на которой проводилось исследование, представлена в табл. 1.

Распределение кабана по биотопам и сезонные миграции изучались путем учета проявления его жизнедеятельности (следов, пороюв, экскрементов, лежек и др.), методом опроса егерей, лесников и местного населения. Оценка влияния роющей деятельности *S. scrofa* L. проводилась методом сравнительного анализа физико-химических свойств почвы на пороях и контрольном участке.

Исследовались 2 пробные площади: одна под свежими месячными, вторая – под старыми годовальными пороями. На каждой пробной площади отводилось по 3 экспериментальные площадки, на которых отбирались почвенные пробы в двукратной повторности. Пробы отбирались на глубину до 30 см по горизонтам через каждые 10 см. Лабораторные анализы физических и агрохимических показателей почв проводились в аккредитованной испытательной лаборатории Государственного центра агрохимической службы «Вологодский»:

- содержание общего органического углерода определялось по И. В. Тюрину [4];

- содержание подвижных форм фосфатов и калия определялось по Чирикову фотоэлектрокалориметрическим и пламенно-фотометрическими методами [3], [12].

- содержание подвижных форм нитратного азота определялось фотоэлектрокалориметрически с использованием хромотроповой кислоты [3].

Достоверность полученных данных рассчитывали сравнительным методом – отношением показателей под пороями к показателям контроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дикий кабан способен взрыхлить почву на значительной территории на глубину от 3–5 до 25 см. Площадь нарушений почвы кабаном в еловом лесу на пробных площадях (10 га), по нашей оценке, составила 14 % от общей площади, то есть 1,4 га.

Нами не найдено точных данных по масштабу роющей деятельности кабанов за весь их годичный жизненный цикл. Трудно подсчитать площадь пороюв одного животного за весенне-летне-осенний период или за год. Но если учесть, что кабан таким образом находит себе корма, то очевидно, что животное «распахивает» каждый день существенные площади.

Рассмотрены разновозрастные пороюв кабана на пробной площади ельника кисличного. Описание почв и почвообразующих пород представлено в табл. 1. Пороюв считали условно свежие (до 1 месяца) и старые (более 1 года).

Влияние пороюв кабана на физические свойства почвы

Роющая деятельность млекопитающих (разрыхление почвы, перемешивание ее в горизонтальном и вертикальном направлениях) является одним из наиболее распространенных и масштабных явлений в природных системах. Эта деятельность выступает мощным экологическим фактором формирования физических свойств почвы.

Твердость почвы – одна из основных характеристик физико-механического свойства почвы, играет существенную роль при рассмотрении протекающих в ней процессов. Известно, что

Характеристика отведенной нами пробной площади

Таблица 1

Группы и бонитеты коренных типов леса	Группы и бонитеты производных типов леса	Общие типологические признаки					
		Положение в рельефе	Почвы, почвообразующие породы	Характер увлечения почвы	Сопутствующие породы	Характерные виды подлеска	Характерные виды живого напочвенного покрова
Ельники кисличные I (II) Е. кис.	Березняки, 1а–1б; Сосняки, 1–1а; Осинники, 1–1а	Хорошо дренированные водоразделы и склоны различной крутизны	Дерново-слабо- и среднеподзолистые легкосуглинистые или супесчаные на средних или тяжелых суглинках; подстилка 2–5 см, рыхлая	Свежие	Пихта, сосна, осина, береза; в нижних ярусах иногда клен, липа, ильм	Жимолость, крушина, малина, местами лещина, бересклет, волчье лыко	Обычно развитый травяной: кислица, ясменник, копытень, сныть, звездчатка, зеленчук, бор, шитовник, костяника, черника; моховой покров не развит

именно эти свойства оказывают решающее влияние на характер распределения корневых систем растений по профилю почвы и на почвообразовательные процессы в целом.

Роющая деятельность млекопитающих представляет собой рыхление почвы, которое приводит к уменьшению ее твердости. Изменение твердости почвы ведет к смене растительного покрова, аэрации почвы, что особенно важно в условиях повышенного увлажнения, и созданию более благоприятных условий для развития комплексов биоты, отвечающих за почвообразовательный процесс.

На свежих пороях твердость почвы меньше, чем в контроле. В старых пороях она выравнивается или уменьшается в среднем на 85,7–100 % (табл. 2).

Вторым очень важным фактором в происходящих почвенных процессах является температурный режим почвы, который в итоге образует вместе с влажностью гидротермический режим эдафотопы.

Влажность почвы – важное физическое свойство, обеспечивающее, с одной стороны, формирование гидротермического режима, являющегося основой всех биохимических процессов в почвообразовании, с другой – доступность питательных веществ. Роющая деятельность млекопитающих является одним из биотических факторов формирования почвенного увлажнения лесных биогеоценозов, что особенно важно в условиях интенсивного увлажнения Вологодской области.

Влажность по сравнению с контролем повышается в верхних горизонтах (0–10 и 10–20 см) под свежими пороями; под старыми пороями влажность почвы приближается к контролю, то есть стабилизируется (см. табл. 2).

Влияние пороев кабана на химические свойства почвы

Изменение физических параметров почвы вызывает глубокие преобразования и в ее химических свойствах. Под воздействием роющей деятельности из более глубоких почвенных горизонтов элементы и соединения выносятся на поверхность и более интенсивно вовлекаются в круговорот. Также в результате роющей деятельности животных, как правило, перемещивается верхний гумусовый горизонт с нижележащими горизонтами, что способствует обогащению нижнего горизонта органическим

веществом, увеличивает мощность гумусового горизонта, способствует образованию гумуса.

Роющая деятельность животных оказывает существенное влияние на pH почвы, органическое вещество (гумус), содержание нитратов, фосфатов и калия.

Воздействие млекопитающих на химические особенности проявляется прежде всего в процессе переотложения почвенного материала, в перемещении химических элементов и в интенсификации разложения органических веществ под воздействием изменения физико-термического режима, способствующего обогащению почвы гумусом.

Кислотность (pH) на старых пороях несколько выше, чем на свежих и в контроле (рис. 1), особенно эта разница ощутима в горизонтах 0–10 и 20–30 см.

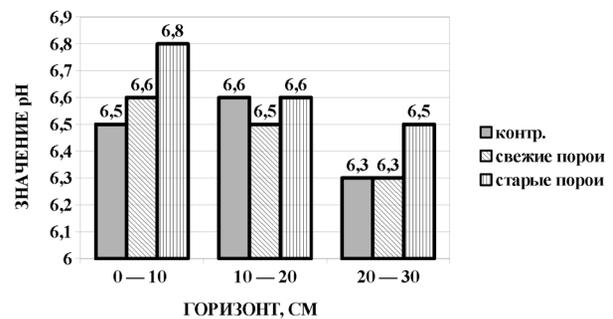


Рис. 1. Динамика кислотности почвы на пороях

Наиболее высоким содержанием органического вещества отличается самый верхний горизонт, который носит название гумусового (рис. 2).

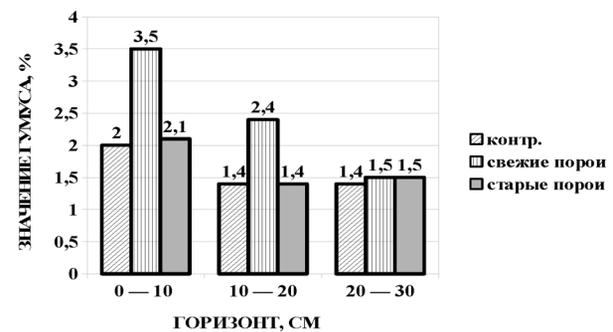


Рис. 2. Динамика содержания органического вещества разновозрастных пороев на пробной площади

Таблица 2
Влияние роющей деятельности кабана на твердость и влажность почв на пробных площадях

№ п/п	Возраст пороев	Твердость			Влажность		
		Горизонт, см					
		0–10	10–20	20–30	0–10	10–20	20–30
1	Контроль	4,0 ± 0,1	4,2 ± 0,2	5,6 ± 0,4	11,8 ± 1,1	6,5 ± 0,2	11,6 ± 1,4
2	Свежие	3,5 ± 0,2	3,6 ± 0,3	4,9 ± 1,1	16,2 ± 1	12,3 ± 1,3	8,2 ± 1,1
3	Старые	3,9 ± 1,1	4,2 ± 1,2	5,6 ± 1,7	11,4 ± 0,2	8,2 ± 0,4	9,1 ± 0,3

В верхних горизонтах в контроле и на старых пороях содержание гумуса отмечено как низкое (1,6–2,0 %), на свежих пороях в горизонте 0–10 см – повышенное (3,1–4,0 %), если содержание гумуса ниже 1,5 %, то оно рассматривается как очень низкое [4]. Максимально повышенное содержание органического вещества наблюдалось на свежих пороях практически во всех рассматриваемых горизонтах. Значительное повышение органического вещества на свежих пороях можно объяснить смешиванием почвы, корней, растительных остатков, которыми питался кабан, и экскрементов животного. Все это в течение месяца находилось в почве, перегнивало и воздействовало на процесс обогащения данного участка органическим веществом. Со временем, то есть на старых пороях, процентное содержание гумуса стабилизируется, почва вступает в фазу омеостаза.

NO_3^- . Растения потребляют азот в больших количествах. По содержанию в растениях азот занимает первое место из элементов питания, получаемых из почвы [3], [4], [12]. Поэтому высокая потребность растений в азоте требует пополнения запасов почвенного азота. Содержание нитратного азота несколько снижается на свежих пороях (табл. 3), но через некоторое время (старые порою) содержание нитратного азота повышается и приближается к контрольным значениям.

P_2O_5^- . Одной из наиболее общих закономерностей зависимости фосфатного режима почв от характера почвообразовательного процесса является тесная связь валового фосфора и его распределения в почве с содержанием органических веществ. Содержание фосфора в гумусовых горизонтах увеличивается вследствие биологического переноса его из более глубоких горизонтов.

Главным фактором содержания и распределения органических фосфатов в почвах является гумус – стойкий показатель, характерный для каждого типа почв.

В почвах значительная часть фосфора (от 30 до 85 %) представлена и в форме органических соединений, недоступных для растений [12]. Органические фосфаты входят в состав гумуса, продуктов синтеза растений и микроорганизмов [14]. Количество этих соединений зависит от типа почв. Содержание органического фосфора находится в прямой зависимости от количества гумуса в почвах. Зависимость содержания фосфатов от количества органического вещества в почвах

обнаруживается не только при сравнении горизонтов одной и той же почвы, но и при сопоставлении анализов образцов тождественных горизонтов разных почв. При этом установлено, что чем более благоприятны условия для накопления органического вещества, тем больше в них содержится органических форм фосфора. Соотношение С: Рорг. в верхних горизонтах настолько устойчиво, что этот показатель используется для идентификации идентичных типов почв [8.] [14].

Содержание фосфатов (см. табл. 2) в той или иной степени зависит от органического вещества в почве в горизонтах 10–20 и 20–30 см. В этих горизонтах динамика почвенных фосфатов идентична динамике органического вещества. Но в верхнем горизонте (0–10 см) данное соотношение нарушается. Можно предположить, что это нарушение является причиной перемешивания слоев почвы и особенно самого верхнего. В указанном горизонте 0–10 см некоторое повышение фосфатов по сравнению с контролем наблюдается на свежих пороях. На старых пороях содержание фосфатов в горизонте 0–10 см немного снижается, но остается выше, чем в контроле. В горизонте 10–20 см содержание фосфатов также несколько выше на старых пороях. В целом содержание почвенных фосфатов на пробной площади можно оценить как высокое (151–250 мг/кг почвы) [4].

K_2O^- . Выщелачивание калия из почвенного раствора во многом определяется его концентрацией и наличием в почве промывного типа водного режима. В интенсивно удобряемых легких почвах, подвергающихся интенсивному увлажнению, константы выщелачивания имеют более высокие значения, нежели в глинистых почвах в условиях недостаточного увлажнения. С увеличением содержания органического вещества способность почвы к удержанию калия возрастает [7], [15].

В наших исследованиях прослеживается тенденция зависимости содержания калия от перемешивания почвенных горизонтов (см. табл. 2). Так, на пороях содержание калия превышает контроль на всех горизонтах, особенно значительное повышение содержания K_2O^- наблюдается на свежих пороях в горизонтах 0–10 и 10–20 см. В целом содержание калия можно оценить на свежих пороях в верхнем горизонте как среднее (81–120 мг/кг почвы), в остальных случаях – низкое и очень низкое (41–80 мг/кг почвы и менее) [3].

Таблица 3
Влияние роющей деятельности кабана на содержание компонентов агрохимического комплекса НРК

Горизонт, см	Контроль			Свежие порою			Старые порою		
	NO_3^-	P_2O_5^-	K_2O^-	NO_3^-	P_2O_5^-	K_2O^-	NO_3^-	P_2O_5^-	K_2O^-
0–10	1,08 ± 1,1	155 ± 0,4	47 ± 1,0	0,9 ± 0,6	170 ± 1,1	92 ± 1,4	1,01 ± 1,0	167 ± 0,7	65 ± 0,3
10–20	1,0 ± 0,7	160 ± 1,1	35 ± 1,2	0,8 ± 0,3	150 ± 0,5	59 ± 1,0	1,0 ± 1,1	170 ± 0,5	54 ± 0,4
20–30	1,08 ± 1,2	185 ± 0,5	32 ± 0,3	0,9 ± 1,1	150 ± 1,2	50 ± 0,4	1,03 ± 1,2	176 ± 1,1	59 ± 0,4

ВЫВОДЫ

Порои кабана в целом положительно влияют на физико-химические свойства почв, особенно в первые месяцы. Уменьшение твердости, повышение влажности почвы, снижение ее кислотности, повышение содержания гумуса и подвижных форм фосфора и калия в почве в первые месяцы

после образования пороев создают благоприятные условия для возобновления травянистой и древесно-кустарниковой растительности, способствуя эффективному прорастанию семян, попавших на взрыхленную почву. По истечении некоторого времени (год и более) физико-химические параметры почвы нормализуются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абагуров Б. Д. Почвообразующая роль животных в биосфере // Биосфера и почвы. М.: Наука, 1976. С. 53–69.
2. Абагуров Б. Д. Млекопитающие как компонент экосистемы (на примере растительноядных млекопитающих в полупустыне). М.: Наука, 1984. 286 с.
3. Агрохимия: Методические указания к учебной практике / Разраб. А. А. Суков, А. Н. Налиухин. Вологда; Молочное: ИЦ ВГМХА, 2010. 45 с.
4. Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв / Под. ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1983. 248 с.
5. Булахов В. Л. Влияние роющей деятельности кабана на физико-химические и биогеоэкологические свойства почв лесных биогеоценозов // Копытные фауны СССР. М., 1975. С. 159–161.
6. Вехник В. П., Саксонов С. В. Роющая деятельность кабана в условиях Жигулевского заповедника // Влияние антропогенной трансформации на население наземных позвоночных животных: Тез. Всесоюз. совещ. М., 1987. Ч. 1. С. 176–178.
7. Воробьева А. К. Оценка обеспеченности черноземов калием и методика его определения // Агрохимия. М.: МГУ, 1975. № 8. С. 132–137.
8. Гинзбург К. Е. Методы определения фосфора в почвах // Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 106–191.
9. Гусев А. А. Функциональная роль диких копытных животных в заповедных биогеоценозах // Роль крупных хищников и копытных в биоценозах заповедников. М., 1986. С. 94–105.
10. Динесман Л. Г. Позвоночные животные в лесных биоценозах // Основы лесной биогеоэкологии. М.: Наука, 1964. С. 277–300.
11. Козло П. Г. Роющая деятельность дикого кабана // Средообразующая деятельность животных. М., 1970. С. 79–80.
12. Орлов Д. С. Химия почв. М.: МГУ, 1985. 376 с.
13. Пахомов А. Е. Биогеоэкологическая роль млекопитающих в почвообразовательных процессах степных лесов Украины. Днепропетровск: ДГУ, 1998. 216 с.
14. Попович Л. П. Фосфатное состояние почвы // Почвоведение. М.: Наука, 1992. № 11. С. 24–35.
15. Прокошев В. В., Бордукова С. С. Влияние калийных удобрений на содержание различных форм калия в почве // Агрохимия. М.: Наука, 1980. № 1. С. 46–51.

Pilipko E. N., Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin (Vologda, Russian Federation)

WILD BOAR'S (*SUS SCROFA*) BURROWING ACTIVITY EFFECT ON PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF SOIL IN WOOD-SORREL SPRUCE FOREST IN BELOZERSK DISTRICT OF VOLOGDA REGION

The environment-transforming role of the wild boar (*S. Scrofa*, L.) burrowing activity on several biogeocenosis parameters has been noted. Assessment of the wild boar's activity on some soil physicochemical parameters has been given. Standard procedures of route scanning, visual study, and soil sample analysis in laboratory conditions have been used. As a result of the research work it has been revealed that the wild boar's burrowing activity promotes positive dynamics of physicochemical and agrochemical soil parameters necessary for the effective growth and vegetation development in predominately herbaceous and ligneous vegetation. Thus, in the soil under new (up to 1 month) burrows the increase in humus and in phosphorus and potassium mobile forms content has been noted. Along with the positive dynamics in the chemical soil properties a positive change in physical soil properties has been observed – soil hardness reduction, moisture increase, and soil acidity drop. Thus, plant seeds getting into the loosened soil enriched with necessary nourishing elements germinate more effectively and develop faster.

Key words: wild boar (*Sus scrofa* L.), environment transforming role, burrowing activity, physicochemical soil properties, forest ecosystems

REFERENCES

1. Abaturov B. D. Soil-forming role of animals in the biosphere [Pochvoobrazuyushchaya rol' zhivotnykh v biosfere]. *Biosfera i pochvy* [Biosphere and soils]. Moscow, 1976. P. 53–69.
2. Abaturov B. D. *Mlekoopitayushchie kak komponent ekosistemy (na primere rastitel'noyadnykh mlekoopitayushchikh v polupustyne)* [Mammals as a component of ecosystems (on the example of herbivorous mammals in semi-desert)]. Moscow, 1984. 286 p.
3. *Agrokhimiya: Metodicheskie ukazaniya k uchebnoy praktike* [Agrochemistry: Methodical instructions to educational practice / Developers A. A. Sukov, A. N. Naliukhin]. Vologda; Molochnoe: ITs VGMKhA Publ., 2010. 45 p.
4. Bab'eva I. P., Zeno va G. M. *Biologiya pochv* [Soil biology]. Moscow, MGU Publ., 1983. 248 p.

5. Булаков В. Л. The influence of burrowing activity of a boar on physico-chemical and biogeocenosis properties of soils of forest biogeocenoses [Vliyanie royushchey deyatel'nosti kabana na fiziko-khimicheskie i biogeotsenoticheskie svoystva pochv lesnykh biogeotsenozov]. *Kopytnye fauny SSSR* [Ungulates of the USSR fauna]. Moscow, 1975. P. 159–161.
6. Векник В. П., Саксонов С. В. Burrowing activity of a boar in the conditions of s Zhigulevsky nature reserve [Royushchay deyatel'nost' kabana v usloviyakh Zhigulevskogo zapovednika]. *Vliyanie antropogennoy transformatsii na naselenie nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh: Tez. Vsesoyuz. soveshch.* [Influence of anthropogenic transformation on the population of terrestrial vertebrates: Theses of all-Union meeting]. Moscow, 1987. Part 1. P. 176–178.
7. Вороб'ева А. К. Score supply of chernozems of potassium, and the method of its determination [Otsenka obespechennosti chernozemov kaliem i metodika ego opredeleniya]. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. Moscow, 1975. № 8. P. 132–137.
8. Гинзбург К. Е. Methods for determination of phosphorus in soils [Metody opredeleniya fosfora v pochvakh]. *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods of research]. Moscow, 1975. P. 106–191.
9. Гусев А. А. Functional role of wild hoofed animals in natural biogeocenoses [Funktsional'naya rol' dikikh kopytnykh zhivotnykh v zapovednykh biogeotsenozakh]. *Rol' krupnykh khishchnikov i kopytnykh v biotsenozakh zapovednikov* [The role of large predators and ungulates in biocenoses reserves]. Moscow, 1986. P. 94–105.
10. Динсман Л. Г. Vertebrate animals in the forest biocenoses [Pozvonochnye zhivotnye v lesnykh biogeotsenozakh]. *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [Fundamentals of forest biogeocenotic]. Moscow, Nauka Publ., 1964. P. 277–300.
11. Козло П. Г. Burrowing activity of a wild boar [Royushchay deyatel'nost' dikogo kabana]. *Sredoobrazuyushchaya deyatel'nost' zhivotnykh* [Environment-forming activity of animals]. Moscow, 1970. P. 79–80.
12. Орлов Д. С. *Khimiya pochv* [Chemistry of soils]. Moscow, 1985. 376 p.
13. Пахомов А. Е. *Biogeotsenoticheskaya rol' mlekopitayushchikh v pochvoobrazovatel'nykh protsessakh stepnykh lesov Ukrainy* [Biogeocenosis role of mammals in soil-formation processes in forest steppe of Ukraine]. Dnepropetrovsk, DGU Publ., 1998. 216 c.
14. Попович Л. П. Chemistry of soils [Fosfatnoe sostoyanie pochvy]. *Pochvovedenie* [Pochvovedenie]. Moscow, 1992. № 11. P. 24–35.
15. Прокошев В. В., Бордукова С. С. The influence of potassium fertilizer on the content of various forms of potassium in the soil [Vliyanie kaliynykh udobreniy na sodержanie razlichnykh form kaliya v pochve]. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. Moscow, 1980. № 1. P. 46–51.

Поступила в редакцию 11.03.2014

ИРИНА ВЛАДИМИРОВНА СТАФЕЕВА

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

НАТАЛИЯ СЕРГЕЕВНА СУББОТИНА

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой неврологии и психиатрии медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
nataliyasubbotin@yandex.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

СОСТОЯНИЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА ПОСЛЕ КАРОТИДНОЙ ЭНДАРТЕРАКТОМИИ В РАННЕМ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ ПЕРИОДЕ ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА*

У 28 пациентов с ишемическим инсультом, перенесших каротидную эндартерэктомию в раннем восстановительном периоде, анализировали спектры мощности и показатели внутрислошарной когерентности характеристики ЭЭГ. Показано, что в послеоперационном периоде происходила значительное уменьшение показателей мощности спектра патологической медленноволновой активности и восстановление физиологических ритмов альфа- и бета-диапазонов в обоих полушариях с преобладанием изменений на стороне очага ишемии.

Ключевые слова: ишемический инсульт, каротидная эндартерэктомия, электроэнцефалография, внутрислошарная когерентность

Развитие ишемического инсульта (ИИ) в 60–75 % случаев связано с патологией брахиоцефальных артерий (БЦА). Ведущим этиологическим фактором стенотических поражений БЦА является атеросклероз. Выполнение каротидной эндартерэктомии (КЭАЭ) при клинически проявляющемся стенозе внутренней сонной артерии снижает риск развития повторного инсульта в бассейне оперированного сосуда при стенозе более 70 % просвета. В ряде исследований обнаружено, что для пациентов без существенных отклонений по результатам КТ или при низкой плотности видимых на КТ изменений в условиях стабильного неврологического дефицита и нормального уровня сознания КЭАЭ безопасна и сопровождается низким риском операционных осложнений [5], [6], [11]. В работе [1] показано, что возможность оперировать больных с инфарктом мозга основана на изменениях мозговой гемодинамики. У пациентов с симптомным каротидным стенозом, визуально определяемой недостаточностью перфузии и потерей перфузионного резерва (коррелирующим с симптомным статусом) риск ИИ повышен. КЭАЭ устраняет межполушарную асимметрию и улучшает перфузию мозга. У пациентов с односторонним ка-

ротидным стенозом после КЭАЭ нормализуются анатомические характеристики и коллатеральный кровоток по виллизиевому кругу. Снижение церебрального дефицита и сосудистого резерва после КЭАЭ может еще больше снизить риск ИИ благодаря вымыванию церебральных эмболов из пограничных зон, в которых коллатеральное кровоснабжение минимально [13]. Некоторые исследования подтвердили, что неврологический дефицит, сосудистый бассейн инсульта, размер инфаркта и время операции являются факторами, влияющими на риск оперативного вмешательства [11]. При тяжелом симптомном каротидном стенозе преимущества КЭАЭ весьма существенны и значительно повышаются по мере увеличения степени стеноза до 95 % [4]. Благоприятный эффект от операции при ИИ более выражен, чем при ТИА, хотя риск осложнений, вероятно, выше в первом случае [12]. Показано, что абсолютный риск КЭАЭ снижается наполовину, если операция откладывается как минимум на 2 недели, и далее снижается еще наполовину, если проводится не раньше чем через 4 недели. При отложенной КЭАЭ риск повторного ИИ и каротидной окклюзии составляет 2–2,5 % [1].

Целью исследования явилось изучение особенностей показателей спектров мощности и показателей внутрислоушарной когерентности у пациентов ИИ, которым в раннем восстановительном периоде была выполнена КЭАЭ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследованы 28 пациентов с односторонним стенозом высокой степени (75 % и более просвета артерии) ВСА на ипсилатеральной стороне инсульта: 16 пациентов с левополушарной локализацией очага и 12 пациентов с правополушарной локализацией. Среди них мужчин было 20 человек (71,4 %), женщин – 8 (28,6 %). Средний возраст пациентов составил $61,2 \pm 7,6$ года. Оценка степени тяжести неврологического дефицита (шкала Lindmark), функциональных возможностей (шкала Barthel) пациентов проводилась на 21-е, 30-е сутки инсульта, а также спустя 3 и 6 месяцев. Контрольную группу составили 37 пациентов с ишемическим инсультом в раннем восстановительном периоде, сопоставимых по возрасту и полу. Для регистрации ЭЭГ использовали 19-канальный цифровой электроэнцефалограф нейрокартограф фирмы «МБН» (Россия). Для количественной оценки спектра когерентности использовали программу «Нейрокартограф», которая позволяла методом быстрого преобразования Фурье рассчитать значения спектров мощности и показателей внутрислоушарной когерентности (ВПК) для основных диапазонов частот ЭЭГ: дельта (0–4 Гц), тета (4–8 Гц), альфа-1 (8–10 Гц), альфа-2 (10–13 Гц), бета (13–30 Гц). Анализировали монополярные отведения ЭЭГ с референтными ушными электродами. Запись ЭЭГ проводилась на 21-е сутки, спустя 3 и 6 месяцев заболевания. Статистическую обработку данных осуществляли при помощи пакета статистических программ S-Plus 2000 (Math Soft Inc) с использованием методов непараметрической статистики. Данным пациентам в течение 6 месяцев после перенесенного ИИ была выполнена КЭАЭ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В клинической картине заболевания у всех пациентов в начале раннего восстановительного периода сохранялся умеренный гемипарез, анизорефлексия с повышением сухожильных и периостальных рефлексов на стороне пареза, у 9 (32,1 %) пациентов выявляли рефлекс Бабинского. Отмечали умеренное повышение мышечного тонуса по спастическому типу на стороне гемипареза. У 6 (21,4 %) пациентов данной группы с локализацией инфаркта в левом полушарии наблюдали симптомы умеренной моторной афазии. Чувствительные нарушения по гемитипу наблюдали у 15 (53,6 %) пациентов, симптомы аутогнозиса отмечали у 4 (14,3 %) пациентов с правополушарной локализацией инфаркта.

Суммарный балл по шкале Lindmark на 21-е сутки – $376,7 \pm 15,2$, по шкале Barthel – $70,5 \pm 4,5$.

При динамическом наблюдении в раннем восстановительном периоде инсульта спустя 3 месяца от начала заболевания отмечали незначительный регресс очаговой неврологической симптоматики. Средний балл по шкале Lindmark составил $394,7 \pm 16,2$, по шкале Barthel – $75,5 \pm 6,5$. К 6-му месяцу наблюдали дальнейший регресс двигательных и чувствительных нарушений. Очаговая неврологическая симптоматика сохранялась у 23 (82,1 %) пациентов. В данной подгруппе к 6-му месяцу отмечали увеличение суммарного балла по шкале Lindmark до $417,4 \pm 19,6$, по шкале Barthel – до $80,7 \pm 7,5$. К концу раннего восстановительного периода у 21 (75 %) пациента сохранялся легкий гемипарез. У большинства пациентов нарушения мышечного тонуса регрессировали. Нарушения чувствительности были у 13 (46,45 %) пациентов.

На 7-е сутки после выполнения операции КЭАЭ существенной динамики в неврологическом статусе не выявили. При динамическом наблюдении спустя месяц после операции отмечали значительный регресс очаговой неврологической симптоматики. Средний балл по шкале Lindmark составил $436,5 \pm 10,2$, по шкале Barthel – $90,7 \pm 5,5$ ($p < 0,05$) (таблица). Полный регресс двигательных нарушений наблюдали у 8 (28,5 %) пациентов, преимущественно с правополушарным инсультом. У остальных пациентов данной подгруппы сохранялись двигательные нарушения в виде легкого гемипареза, преимущественно в дистальных отделах, и анизорефлексии. У 7 (46,6 %) пациентов отмечали исчезновение нарушений поверхностной и глубокой чувствительности. Таким образом, в данной подгруппе у пациентов к 1-му месяцу произошло значительное восстановление двигательной функции и способности к самообслуживанию.

При динамическом наблюдении спустя 3 месяца после операции отмечали дальнейший регресс очаговой неврологической симптоматики. Средний балл по шкале Lindmark составил $441,7 \pm 12,4$, по шкале Barthel $95 \pm 4,5$ (см. табл.). У 7 пациентов данной подгруппы сохранялись двигательные нарушения в виде легкого гемипареза в дистальных отделах и анизорефлексии. У всех пациентов наблюдали исчезновение нарушений поверхностной и глубокой чувствительности.

Таким образом, в данной подгруппе пациентов после выполнения КЭАЭ наблюдали практически полное восстановление двигательных функций и способности к самообслуживанию. Наиболее выраженную динамику изменений отмечали спустя месяц после операции ($p < 0,05$). Выживаемость в послеоперационном периоде составила 100 %.

При исследовании показателей спектров мощности к концу раннего восстановительного

Динамика состояния больных, перенесших КЭАЭ, в течение 3 месяцев после операции по шкалам Lindmark и Barthel (в баллах, $M \pm m$)

Группа больных	Интегральная тяжесть по шкалам, $M \pm m$					
	7-е сутки		1-й месяц		3-й месяц	
	шкала Lindmark	шкала Barthel	шкала Lindmark	шкала Barthel	шкала Lindmark	Шкала Barthel
Инсульт средней тяжести (после КЭАЭ), n = 28	417,4 ± 19,6	84,7 ± 7,5	436,5 ± 10,2*	90,7 ± 5,5*	441,7 ± 12,4	95 ± 4,5

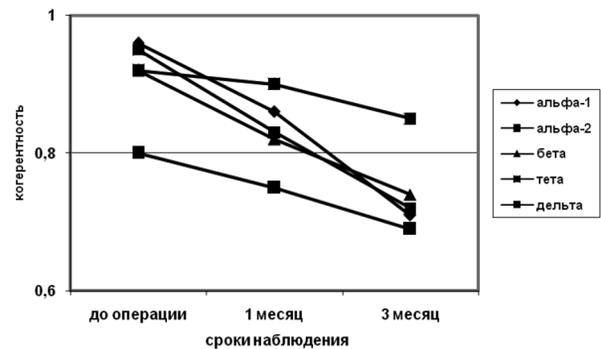
Примечание. * – достоверные отличия показателей по шкалам до операции и спустя 1 месяц после операции, $p < 0,05$.

периода у пациентов наблюдались высокие показатели медленноволновой, преимущественно тета-активности ($p < 0,05$), с преобладанием ее на стороне поражения и сохранением межполушарной асимметрии. Отмечалось увеличение показателей ВПК во всех областях обоих полушарий, преимущественно в альфа-, бета- и тета-диапазонах, по сравнению с контрольной группой. Выявлялось достоверное увеличение ($p < 0,05$) ВПК в лобно-височных, центрально-височных и лобно-центральных областях обоих полушарий.

Наиболее выраженная динамика изменений наблюдалась спустя месяц после восстановления мозгового кровотока при КЭАЭ ($p < 0,05$) (средний балл по шкалам Lindmark и Barthel $436,5 \pm 10,2$ и $90,7 \pm 5,5$ соответственно). Выживаемость в послеоперационном периоде составила 100 %. В течение 7 суток после выполнения КЭАЭ значимых изменений спектральной мощности не выявлено. Однако к концу 1-го месяца отмечалось уменьшение тета- и дельта-активности с уменьшением межполушарной асимметрии ($p < 0,05$). Отмечалось увеличение альфа- и бета-активности ($p < 0,05$) в лобно-центральной, лобно-височном, височных и затылочных отделах обоих полушарий с преобладанием изменений на стороне поражения по сравнению с дооперационными показателями.

Выявлялось достоверное уменьшение ($p < 0,05$) показателей ВПК в большинстве областей пораженного полушария, преимущественно в альфа-, бета- и тета-диапазонах. Наиболее выраженное снижение показателей регистрировали в бета-диапазоне (рисунок).

Спустя 3 месяца после операции картина биоэлектрической активности достоверно не изменялась. При этом значения показателей приближались к показателям группы здоровых лиц. В течение всего послеоперационного периода отмечали также снижение показателей ВПК в интактном полушарии, но менее выраженное, чем в пораженном полушарии. В послеопераци-



Динамика изменений внутриполушарной когерентности пораженного полушария у больных, перенесших КЭАЭ (по оси ординат – значения внутриполушарной когерентности, по оси абсцисс – сроки после операции)

онном периоде в данной подгруппе пациентов наблюдали практически полное восстановление двигательных, чувствительных функций и способности к самообслуживанию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в послеоперационном периоде происходит значительное уменьшение показателей мощности спектра медленноволновой активности и увеличение альфа- и бета-активности в обоих полушариях с преобладанием изменений на стороне очага. Данные изменения связаны с восстановлением процессов метаболизма нейронных головного мозга в условиях восстановления мозговой гемодинамики при КЭАЭ. У пациентов с симптомным стенозом ВСА отмечаются снижение уровня церебральной перфузии и истощение перфузионного резерва. КЭАЭ улучшает перфузию мозга и коллатеральный кровоток по виллизиевому кругу, в том числе за счет вымывания церебральных эмболов из пограничных зон, в которых коллатеральное кровоснабжение было минимально, устраняя тем самым межполушарную асимметрию, выявляемую по данным ЭЭГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баркаускас Е., Мескаскене А., Лаурикенас К. Риск, связанный с каротидной эндартерэктомией у пациентов с инфарктом головного мозга // *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2005. Т. 1. № 1. С. 103–111.
2. Караваев Б. И., Гавриленко А. В., Скрылев С. И., Кузнецов А. В. Метаболизм в головном мозге при каротидной эндартерэктомии (оксигенация, электролитный баланс, потребление глюкозы) // *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2006. Т. 12. № 4. С. 43–47.
3. AbuRahma A. F., Robinson P., Holt S. M. et al. Perioperative and late stroke rates of carotid endarterectomy contralateral to carotid artery occlusion: results from a randomized trial // *Stroke*. 2000. Vol. 31. P. 1566–1571.

4. Barnett H. J. M., Taylor D. W., Eliasziw M. et al. Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis // *N. Engl. J. Med.* 1998. Vol. 339. P. 1415–1425.
5. Doerfler A., Eckstein H. H., Eichbaum M. et al. Perfusion – weighted magnetic resonance imaging in patients with carotid artery disease before and after carotid endarterectomy // *J. Vasc. Surg.* 2001. Vol. 34. P. 587–593.
6. Kline R. A., Lazo A., Bass N. et al. Safety of early carotid endarterectomy after stroke // *Stroke.* 1995. Vol. 26. P. 173. Abstract.
7. Halgren E., Baudena P., Clarke J. et al. Intracerebral potentials to rare target and distracter auditory and visual stimuli. II. Medial, lateral and posterior temporal lobe // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1995. Vol. 94. P. 229–250.
8. Halgren E., Marincovic K., Chauvel P. Generators of the late cognitive potentials in auditory and visual oddball tasks // *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1998. Vol. 106. P. 156–164.
9. Maurer A. H., Siegel J. A., Comerota A. J. SPECT quantification of cerebral ischemia before and after carotid endarterectomy // *J. Nucl. Med.* 1990. Vol. 31. P. 1412–1420.
10. Mayberg M. R., Wilson S. E., Yatsu F. Carotid endarterectomy and prevention of cerebral ischemia in symptomatic carotid stenosis // *JAMA.* 1991. Vol. 266. P. 3289–3294.
11. Pritz M. B. Timing of carotid endarterectomy after stroke // *Stroke.* 1997. Vol. 28. P. 2563–2567.
12. Rothwell P. M., Gutnikov S. A., Warlow C. P. For the ECST. Re-analysis of the final results of the European Carotid Surgery Trial // *Stroke.* 2003. Vol. 34. P. 514–523.
13. Vernieri F., Pasqualetti P., Matteis V. et al. Effect of collateral reactivity on the outcome of carotid artery occlusion // *Stroke.* 2001. Vol. 32. P. 1552–1558.

Stafeeva I. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Subbotina N. S., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Dudanov I. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

STATE OF BRAIN ACTIVITY AFTER CAROTID ENDARTERECTOMY IN EARLY RECOVERY PHASE OF ISCHEMIC STROKE

Carotid endarterectomy was performed in 28 patients in the early recovery period after stroke. The power spectra and coherence indicators of the intrahemispheric EEG characteristics were analyzed. A significant decrease in the performance of the power spectrum of the slow-wave activity, in the restoration of the physiological rhythms of the alpha and beta bands in both hemispheres was registered. Significant changes were revealed on the side of the primary ischemic focus.

Key words: ischemic stroke, carotid endarterectomy, electroencephalography, intrahemispheric coherence

REFERENCES

1. Barkauskas E., Meskaskene A., Laurikenas K. The risk associated with carotid endarterectomy in patients with cerebral infarction [Risk, svyazanny s karotidnoy endarterektomiey u patsientov s infarktom golovnogo mozga]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya.* 2005. Vol. 1. № 1. P. 103–111.
2. Karavaev B. I., Gavrilenko A. V., Skrylev S. I., Kuklin A. V. Metabolism in the brain during carotid endarterectomy (oxygenation, electrolyte balance, glucose consumption) [Metabolizm v golovnom mozge pri karotidnoy endarterektomii (oksigenatsiya, elektrolitnyy balans, potreblenie glyukozy)]. *Angiologiya i sosudistaya khirurgiya.* 2006. Vol. 12. № 4. P. 43–47.
3. Abu Rahma A. F., Robinson P., Holt S. M. et al. Preoperative and late stroke rates of carotid endarterectomy contralateral to carotid artery occlusion: results from a randomized trial // *Stroke.* 2000. Vol. 31. P. 1566–1571.
4. Barnett H. J. M., Taylor D. W., Eliasziw M. et al. Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis // *N. Engl. J. Med.* 1998. Vol. 339. P. 1415–1425.
5. Doerfler A., Eckstein H. H., Eichbaum M. et al. Perfusion – weighted magnetic resonance imaging in patients with carotid artery disease before and after carotid endarterectomy // *J. Vasc. Surg.* 2001. Vol. 34. P. 587–593.
6. Kline R. A., Lazo A., Bass N. et al. Safety of early carotid endarterectomy after stroke // *Stroke.* 1995. Vol. 26. P. 173. Abstract.
7. Halgren E., Baudena P., Clarke J. et al. Intra cerebral potentials to rare target and distracter auditory and visual stimuli. II. Medial, lateral and posterior temporal lobe // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 1995. Vol. 94. P. 229–250.
8. Halgren E., Marincovic K., Chauvel P. Generators of the late cognitive potentials in auditory and visual oddball tasks // *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1998. Vol. 106. P. 156–164.
9. Maurer A. H., Siegel J. A., Comerota A. J. SPECT quantification of cerebral ischemia before and after carotid endarterectomy // *J. Nucl. Med.* 1990. Vol. 31. P. 1412–1420.
10. Mayberg M. R., Wilson S. E., Yatsu F. Carotid endarterectomy and prevention of cerebral ischemia in symptomatic carotid stenosis // *JAMA.* 1991. Vol. 266. P. 3289–3294.
11. Pritz M. B. Timing of carotid endarterectomy after stroke // *Stroke.* 1997. Vol. 28. P. 2563–2567.
12. Rothwell P. M., Gutnikov S. A., Warlow C. P. For the ECST. Re-analysis of the final results of the European Carotid Surgery Trial // *Stroke.* 2003. Vol. 34. P. 514–523.
13. Vernieri F., Pasqualetti P., Matteis V. et al. Effect of collateral reactivity on the outcome of carotid artery occlusion // *Stroke.* 2001. Vol. 32. P. 1552–1558.

Поступила в редакцию 25.07.2013

ЕВГЕНИЯ МИХАЙЛОВНА СТЕПАНОВА

младший научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний, Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН (Магадан, Российская Федерация)

At-evgenia@rambler.ru

ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА ЛУГОВАЯ

кандидат биологических наук, доцент, ученый секретарь, Научно-исследовательский центр «Арктика» ДВО РАН (Магадан, Российская Федерация)

elena_plant@mail.ru

ИРИНА АНАТОЛЬЕВНА ВИНОГРАДОВА

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой фармакологии, организации и экономики фармации, микробиологии и гигиены медицинского факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

irinav@petsu.ru

ЭЛЕМЕНТНЫЙ «ПОРТРЕТ» СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ СЕВЕРНЫХ РЕГИОНОВ РОССИИ

Методами атомной эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой определяли содержание 25 макро- и микроэлементов в волосах студентов Европейского и Азиатского Севера (Санкт-Петербург, Петрозаводск, Магадан). Установлено, что элементный статус организма всех изученных групп характеризуется дефицитом эссенциальных микро- и микроэлементов, таких как Co, Ca, Mg, Cu (50–90 % от числа обследованных). Выраженных нарушений в содержании Al, As, B, Cd, Hg, Pb, Sn, V не обнаружено. Анализ медианных значений концентраций химических элементов в волосах обследованных лиц позволил выявить ряд достоверных региональных различий. У всех обследованных ниже нижней границы референтных значений оказалось содержание Co, Ca, Mg, Se; в Петрозаводске у всех студентов ниже содержание Sr и Na и выше верхней границы содержание Zn; в Санкт-Петербурге и Магадане ниже нижней границы – концентрация Mn. У курсантов мужского пола из Санкт-Петербурга достоверно большим оказалось содержание в волосах B, Ca, Co, Fe, Mg и Se; у студентов из Петрозаводска – Hg, I, P и Zn; у студентов из Магадана – As, Cd, Cr, K, Na, Si и V. В организме магаданских студенток достоверно выше были концентрации Al, As, B, I, Na, Se, Si и V; в волосах девушек из Петрозаводска – Cu, Zn и Hg. При корреляционном анализе у всех студентов северных регионов мужского пола выделено 3 одинаковые пары элементов с положительной статистически значимой ($p < 0,05$) сильной связью: Ca/Mg, Cd/Pb, K/Na. В корреляционной плеяде девушек из Петрозаводска и Магадана выделяется также 3 пары элементов с положительной сильной связью ($p < 0,05$): Ca/Mg, Ca/Mn, Mg/Mn. Хронический дефицит основных химических элементов в экстремальных северных условиях может создавать основу для развития дисфункций многих физиологических процессов и формирования широкого спектра патологий.

Ключевые слова: макро- и микроэлементы, дисбаланс, студенты, Север, адаптация

В настоящее время проблема здоровья населения является как общенациональным, так и региональным приоритетом социальной политики. В данном контексте заслуживает особого внимания так называемая студенческая молодежь – социально-демографическая группа, готовящаяся в ходе получения высшего образования к профессиональной деятельности. Это наиболее подготовленная, образованная часть молодежи, которая является самой активной, динамичной частью любого общества [15].

На формирование здоровья студенческой молодежи влияет множество факторов, непосредственно связанных с учебным процессом (продолжительность учебного дня, учебная нагрузка, обусловленная расписанием, перерывы между занятиями, состояние учебных аудиторий и т. д.) и субъективных, а также личностные характеристики (режим питания, двигательная активность, организация досуга, наличие или отсутствие вредных привычек и т. д.) [18] и образ жизни [9], [17].

Вместе с тем развитие большинства заболеваний так или иначе связано с факторами окружающей среды, набор которых для Севера России хорошо известен. Это низкая температура среды, фотопериодичность, высокая ионизация воздуха и резкие колебания напряжения геомагнитного и статического электрического поля, перепады атмосферного давления, низкая парциальная плотность кислорода в воздухе, неадекватное питание, слабоминерализованная питьевая вода и др. Их неблагоприятное воздействие на организм может привести к развитию сдвигов в основных физиологических системах организма и формированию патологии у человека [1], [2], [7], [8], [9].

Одним из условий успешной адаптации и поддержания функциональных резервов, особенно в экстремальных условиях Севера, является адекватное потребностям обеспечение организма макро- и микроэлементами (МЭ) [13]. Соответственно, отклонения в содержании химических элементов, вызванные экологическими, профессиональными, климатогеографическими факторами или заболеваниями, приводят к широкому спектру нарушений в состоянии здоровья. Для Севера, в том числе и Северо-Запада России, характерна недостаточность магния, калия, йода, фтора, железа, селена, цинка и других микро- и макроэлементов, что является риском развития скрытых и выраженных микроэлементозов [5], [16]. Таким образом, особый интерес представляет определение общей структуры элементного профиля организма и выявление особенностей элементного дисбаланса у студентов Европейского (на примере г. Санкт-Петербург – 59°57' с. ш., 30°19' в. д. и г. Петрозаводск – 61°47' с. ш., 34°22' в. д.) и Азиатского (г. Магадан – 59°34' с. ш., 150°48' в. д.) Севера, родившихся и проживающих в схожих природно-климатических и биогеохимических условиях среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта элементного анализа использовали волосы с затылочной части головы. Правомерность и эффективность использования волос для оценки элементного статуса всего организма доказана результатами нескольких международных координированных программ, выполненных под эгидой Международного агентства по атомной энергии [19].

Методами атомной эмиссионной спектроскопии (АЭС-ИСП) и масс-спектрометрии (МС-ИСП) с индуктивно связанной аргоновой плазмой на приборах Optima 2000 DV и ELAN 9000 (Perkin Elmer Corp., США) в ООО «Микро-нутриенты» (г. Москва) определяли содержание 25 МЭ (Al, As, B, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, V, Zn) в волосах курсантов Военно-медицинской академии имени С. М. Кирова (Санкт-Петербург,

n = 31), студентов Петрозаводского государственного университета (Петрозаводск, n = 47) и Северо-Восточного государственного университета (Магадан, n = 46). Средний возраст курсантов из Санкт-Петербурга составил $19,10 \pm 0,23$ года, студентов из Петрозаводска – $21,47 \pm 0,27$ года, из Магадана – $20,26 \pm 0,27$ года. В качестве референтных величин концентраций элементов в волосах использованы среднероссийские показатели [14].

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием пакета IBM SPSS Statistics 21. Для установления различий между двумя независимыми выборками по количественным показателям, распределение которых отличалось от нормального, применяли критерий Манна – Уитни (U), где Z соответствует параметрическому t-критерию Стьюдента для независимых выборок. Параметры описательной статистики для количественных показателей приведены в виде медианы (Me) и интерквартильной широты (25-й; 75-й процентиль). Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось при $p < 0,05$. Анализ вероятностной связи между химическими элементами в организме проводили с помощью ранговой корреляции Спирмена.

При сравнительном анализе результатов многоэлементных исследований, полученных у лиц разных групп, мы использовали предложенный И. А. Рудаковым и коллегами [12] коэффициент статистической нестабильности (КСН), отражающий особенности статистических совокупностей рассматриваемых выборок (величины концентрации определенного элемента в исследуемых образцах). Для определения КСН рассчитывали два промежуточных показателя: разброс величин концентраций (РВК) – отношение величины среднего квадратического отклонения (σ) к величине средней арифметической (M) концентрации элемента в волосах, получаемое путем деления первой величины на вторую, и диапазон величин концентраций (ДВК) – отношение величины наибольшего значения концентрации элемента в волосах к величине наименьшего значения концентрации, получаемое путем деления первой величины на вторую. Единый обобщенный относительный коэффициент статистической нестабильности рассчитывали как произведение величин РВК и ДВК и представляли в целых числах.

Для определения общей доли вариации для коррелируемых показателей концентраций МЭ в волосах обследуемых рассчитывали коэффициент детерминации ($R = r \times r$, где r – значение коэффициента корреляции без учета знака), применимый, в том числе, при интерпретации данных физиологических исследований [11].

Настоящее исследование проведено с соблюдением требований биомедицинской этики

и сопровождалось добровольно полученным письменным информированным согласием обследуемых лиц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Медианы концентраций МЭ в волосах обследованных студентов представлены в табл. 1 и 2.

По нашим данным, в организме студентов изученных регионов выявлен дисбаланс МЭ, выраженный преимущественно дефицитными концентрациями.

В связи с тем что в Санкт-Петербурге нами обследованы курсанты Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова (ВМА), в силу специфики учебного заведения в группу попали только лица мужского пола. Так, у всех курсантов ВМА (100 % от числа обследованных) обнаружен дефицит Co, у 74 % – Si, у 71 % – I, у 55 % – K, у 52 % – Cu и Mg, у 48 % – Na, у 42 % – Ca, у 26 % – Zn, у 19 % – Cr, у 16 % – P, у 13 % – Mn и избыток Zn у 48 %, Cr у 16 %, Mg у 13 % и Fe у 10 %. В организме студентов-мужчин из Петрозаводска также в 100 % случаев наблюдается дефицит Co, в 91 % – дефицит Ca, в 86 % – Mg, в 55 % – Cu и Na, в 36 % – Si, в 32 % – I, в 23 % – K, в 18 % – Cr, в 14 % – P и избыток Zn у 73 % от числа обследованных. В группе студентов-мужчин из Магадана элементные отклонения представлены дефицитом Co (86 %), Ca (76 %), Mg (69 %), Cu (66 %), I (62 %), Fe и P (48 %), K (28 %), Na, Se и Zn (24 %), Si (21 %) и Mn (17 %), а также избытком K (38 %), Cr и Zn (21 %).

Для студенток женского пола из Петрозаводска и Магадана характерна менее выраженная частота проявления дисбаланса по сравнению с обследованными лицами мужского пола. У 76 % девушек из Петрозаводска обнаружен дефицит Ca и Mg, у 72 % – Co и I, у 60 % – Na, у 32 % – Cu и Si, у 24 % – K, у 20 % – Se и Zn, у 16 % – Cr и у 12 % – Fe; избыток характерен для Zn (40 %), Cu и P (36 %), Mn (32 %) и Fe (12 %). В волосах магаданских студенток выявлен дефицит Mg (61 %), Ca и Co (56 %), Cu и Zn (44 %), I и K (33 %), Cr, Na и Se (28 %), P (22 %) и избыток Si (28 %), K, Mn, Na и P (17 %).

Таким образом, общим нарушением, характерным для всех изученных контингентов, является сочетанный дефицит Co, Ca, Cu, Mg, K, Na. Избыток Zn и дефицит Si характерен также для всех, кроме студенток Магадана, дефицит I и P – для всех, кроме студенток Петрозаводска, а дефицит Cr – для всех, кроме студентов мужского пола из Магадана. Избыток Mn и P – только для лиц женского пола исследуемых групп, а избыток Cr – для мужского. Дисбаланс Fe и Se (избыток и дефицит на уровне 20 %) встречается в разных группах, не проявляя четкой половой или территориальной дифференцировки, что можно отнести скорее к индивидуальной реакции организма на общее напряжение.

При исследовании элементного состава волос детей 3–15 лет г. Санкт-Петербурга ранее выявлено, что детское население Северо-Западного федерального округа в большей степени, чем в Центральном федеральном округе, подвержено риску металлотоксикозов по Pb, Al, Cd, Hg, As, Be, а также риску дефицита Ca, Mg [6]. Частотный анализ отклонений содержания МЭ у детей и подростков 7–14 лет г. Магадана показал дефицит Mg у 74 % детей, Co – у 63 %, Ca – у 54 %, K и Se – у 41 %, Mn – у 34 %, I – у 30 %, Cr, Cu и Zn – у 29 %; обнаружен значительный избыток Si у 36 % детей, Fe и Na – у 24 %. При этом нами было установлено, что содержание токсичных элементов не выходит за рамки физиологической нормы, однако в единичных случаях встречается избыток Al и Ni у девочек, Pb – у мальчиков, Cd, Li, Sn – у детей обоего пола [10].

По нашим данным, выраженного избытка тяжелых металлов и элементов, способных оказывать токсический эффект на организм (Al, As, B, Cd, Hg, Pb, Sn, V), у студентов изученных северных регионов не обнаружено. В единичных случаях в волосах студентов обоего пола из Петрозаводска обнаружен избыток B и Hg, у трех юношей из Магадана избыток Cd и V. У одной магаданской студентки обнаружен избыток Al и у двух – As. Во всех группах в единичном случае выявлен избыток Pb.

Анализ медианных значений концентраций химических элементов в волосах обследованных лиц позволил выявить ряд достоверных региональных различий. Так, у курсантов ВМА достоверно большим среди всех обследованных лиц мужского пола оказалось содержание в волосах B, Ca, Co, Fe, Mg и Se, у студентов из Петрозаводска – Hg, I, P и Zn, у студентов из Магадана – As, Cd, Cr, K, Na, Si и V (см. табл. 1). В организме магаданских студенток достоверно выше были концентрации Al, As, B, I, Na, Se, Si и V, в волосах девушек из Петрозаводска – Cu, Zn и Hg (см. табл. 2).

При сравнении полученных данных о содержании химических элементов в волосах студентов обоего пола, проживающих в Петрозаводске, с референтными значениями [14] установлено превышение концентрации Zn, а значения концентрации Cr и Na оказались ниже нижней границы референтного диапазона. Содержание Mn в волосах студентов Санкт-Петербурга и Магадана оказалось ниже нижней границы референтных значений. Значительно ниже нижней границы нормативных показателей оказались концентрации Ca, Co, Mg, Se в волосах всех обследованных лиц.

Подобно другим физиологическим параметрам, концентрация каждого из изученных элементов в волосах разных людей значительно варьируется (что связано с полом, возрастом, сезоном, местом проживания и т. д.). Более того,

Таблица 1

Содержание химических элементов в волосах студентов мужского пола северных регионов России, мкг/г (Me (25-й; 75-й процентиль))

МЭ	Обследованные группы лиц		
	г. Санкт-Петербург – 1 (n = 31)	г. Петрозаводск – 2 (n = 22)	г. Магадан – 3 (n = 29)
Al	5,27 (3,73; 7,25)	4,42 (2,23; 6,66)	4,68 (2,85; 8,98)
As	0,042 (0,042; 0,042)	0,042 (0,042; 0,042)	0,089 (0,042; 0,114)
B	1,20 (0,86; 2,02)	0,64 (0,18; 1,16)	0,35 (0,18; 0,60)
Be	0,003 (0,003; 0,003)	0,003 (0,003; 0,003)	0,003 (0,003; 0,003)
Ca	334,17 (276,40; 419,32)	225,90 (161,78; 283,42)	208,90 (158,45; 303,06)
Cd	0,010 (0,005; 0,014)	0,007 (0,005; 0,014)	0,016 (0,007; 0,050)
Co	0,008 (0,006; 0,011)	0,006 (0,004; 0,007)	0,003 (0,002; 0,011)
Cr	0,36 (0,27; 0,68)	0,30 (0,25; 0,53)	0,78 (0,46; 1,03)
Cu	9,93 (8,58; 10,87)	10,21 (8,94; 12,22)	9,65 (8,20; 11,36)
Fe	22,14 (18,76; 26,68)	16,51 (14,14; 20,37)	11,07 (7,81; 15,25)
Hg	0,19 (0,14; 0,38)	0,53 (0,32; 0,89)	0,11 (0,06; 0,17)
I	0,34 (0,30; 0,55)	0,66 (0,39; 1,82)	0,33 (0,30; 0,70)
K	45,77 (30,47; 109,99)	66,20 (47,85; 163,55)	129,40 (51,49; 359,46)
Li	0,012 (0,012; 0,012)	0,012 (0,012; 0,012)	0,012 (0,012; 0,015)
Mg	30,93 (26,49; 45,90)	21,21 (16,98; 25,57)	23,95 (15,27; 34,57)
Mn	0,28 (0,23; 0,51)	0,35 (0,24; 0,54)	0,29 (0,21; 0,46)
Na	109,40 (58,18; 173,17)	63,21 (25,84; 183,71)	227,60 (97,09; 695,40)
Ni	0,18 (0,12; 0,28)	0,14 (0,09; 0,22)	0,14 (0,11; 0,34)
P	162,12 (141,89; 175,59)	165,84 (151,54; 181,38)	140,30 (118,85; 167,80)
Pb	0,22 (0,13; 0,34)	0,17 (0,11; 0,33)	0,23 (0,10; 0,97)
Se	0,47 (0,41; 0,52)	0,29 (0,26; 0,33)	0,34 (0,19; 0,46)
Si	11,48 (10,27; 15,24)	17,80 (7,61; 37,32)	38,75 (20,93; 47,21)
Sn	0,06 (0,05; 0,12)	0,07 (0,04; 0,11)	0,06 (0,04; 0,13)
V	0,008 (0,005; 0,014)	0,007 (0,004; 0,011)	0,131 (0,048; 0,199)
Zn	198,45 (149,40; 232,13)	227,84 (188,13; 249,23)	163,70 (151,40; 186,95)

МЭ	Статистические критерии и уровень значимости различий между сравниваемыми группами (U; Z; p)		
	1-2	2-3	1-3
Al	310; -0,56; 0,58	312; -0,13; 0,89	419; -0,45; 0,65
As	310; -1,70; 0,09	145; -3,59; 0,000	170,5; -4,78; 0,000
B	197; -2,60; 0,01	216; -1,63; 0,10	123,5; -4,60; 0,000
Be	341; 0,00; 1,000	319; 0,00; 1,000	449,5; 0,00; 1,000
Ca	117; -4,04; 0,000	310; -0,17; 0,86	165; -4,21; 0,000
Cd	318,5; -0,41; 0,68	168,5; -2,87; 0,004	270,5; -2,65; 0,01
Co	214,5; -2,29; 0,02	223; -1,83; 0,07	262; -2,78; 0,01
Cr	283; -1,05; 0,30	141; -3,39; 0,001	272; -2,63; 0,01
Cu	289; -0,94; 0,35	249,5; -1,32; 0,19	402,5; -0,70; 0,49
Fe	201; -2,53; 0,01	149; -3,23; 0,001	126; -4,79; 0,000
Hg	143,5; -3,57; 0,000	81,5; -4,52; 0,000	252; -2,92; 0,003
I	181,5; -2,94; 0,003	184; -2,47; 0,01	432; -0,03; 0,98
K	233; -1,95; 0,051	254; -1,24; 0,22	287; -2,40; 0,02
Li	321; -0,53; 0,60	286; -0,80; 0,43	382,5; -1,34; 0,18
Mg	112; -4,13; 0,000	300,5; -0,35; 0,73	229,5; -3,26; 0,001
Mn	299,5; -0,75; 0,45	276,5; -0,81; 0,42	448,5; -0,02; 0,99
Na	258; -1,50; 0,13	151; -3,20; 0,001	269; -2,67; 0,01
Ni	254,5; -1,56; 0,12	269,5; -0,94; 0,35	408; -0,61; 0,54
P	312; -0,52; 0,60	177; -2,70; 0,01	278; -2,54; 0,01
Pb	297,5; -0,79; 0,43	266,5; -0,999; 0,32	407; -0,63; 0,53
Se	27; -5,67; 0,000	279,5; -0,75; 0,45	217,5; -3,43; 0,001
Si	230,5; -2,00; 0,046	216,5; -1,95; 0,051	133,5; -4,68; 0,000
Sn	324,5; -0,30; 0,77	317; -0,04; 0,97	449; -0,01; 0,99
V	274; -1,21; 0,23	42; -5,28; 0,000	75; -5,54; 0,000
Zn	226; -2,08; 0,04	178,5; -2,67; 0,01	396; -0,79; 0,43

Примечание. МЭ – макро- и микроэлементы; Me – медиана концентраций МЭ; U – критерий Манна – Уитни; Z – соответствует t-критерию Стьюдента для независимых выборок; полужирным шрифтом выделены элементы, различия концентраций которых хотя бы в одной из групп сравнения достоверны (при $p < 0,05$).

Таблица 2

Содержание химических элементов в волосах студентов женского пола северных регионов России, мкг/г (Ме (25-й; 75-й процентиль))

МЭ	Обследованные группы лиц		Статистические критерии и уровень значимости различий между сравниваемыми группами (U; Z; p)
	г. Петрозаводск (n = 25)	г. Магадан (n = 18)	
Al	4,25 (3,10; 6,39)	10,73 (6,65; 22,42)	61,5; -4,03; 0,000
As	0,042 (0,042; 0,042)	0,071 (0,042; 0,235)	108; -3,64; 0,000
B	0,13 (0,07; 0,20)	0,56 (0,32; 1,11)	30; -3,69; 0,000
Be	0,003 (0,003; 0,003)	0,003 (0,003; 0,003)	212,5; -1,18; 0,24
Ca	277,61 (212,63; 663,66)	424,86 (264,83; 726,68)	189; -0,89; 0,38
Cd	0,009 (0,005; 0,021)	0,011 (0,005; 0,057)	195; -0,74; 0,46
Co	0,010 (0,006; 0,030)	0,016 (0,009; 0,041)	175,5; -1,22; 0,22
Cr	0,26 (0,18; 0,34)	0,42 (0,19; 0,70)	145,5; -1,96; 0,05
Cu	13,18 (10,78; 37,63)	9,03 (7,90; 11,06)	67; -3,89; 0,000
Fe	20,71 (13,49; 30,68)	22,18 (13,43; 28,32)	223; -0,05; 0,96
Hg	0,66 (0,33; 0,99)	0,35 (0,15; 0,67)	83; -2,17; 0,03
I	0,30 (0,30; 0,70)	0,68 (0,40; 0,93)	76,5; -2,44; 0,02
K	44,46 (27,05; 83,81)	53,09 (19,09; 111,05)	217; -0,20; 0,84
Li	0,012 (0,012; 0,013)	0,012 (0,012; 0,025)	208; -0,48; 0,63
Mg	36,26 (21,28; 66,79)	29,78 (16,51; 56,39)	190; -0,86; 0,39
Mn	1,04 (0,47; 2,55)	0,87 (0,51; 1,76)	209; -0,39; 0,69
Na	39,53 (16,17; 89,46)	95,11 (50,53; 254,00)	131; -2,31; 0,02
Ni	0,21 (0,11; 0,39)	0,16 (0,09; 0,30)	190,5; -0,85; 0,40
P	160,55 (144,98; 173,66)	146,90 (130,86; 181,08)	188; -0,91; 0,36
Pb	0,20 (0,09; 0,45)	0,17 (0,09; 0,54)	216; -0,22; 0,83
Se	0,30 (0,26; 0,31)	0,34 (0,27; 0,73)	135; -2,22; 0,03
Si	17,85 (12,86; 21,51)	32,49 (22,98; 61,12)	86; -3,42; 0,001
Sn	0,09 (0,04; 0,24)	0,13 (0,04; 0,24)	144; -0,20; 0,85
V	0,005 (0,004; 0,008)	0,032 (0,022; 0,073)	36,5; -3,70; 0,000
Zn	219,98 (183,05; 251,47)	180,48 (148,52; 208,83)	123; -2,51; 0,01

Примечание. МЭ – макро- и микроэлементы; Ме – медиана концентраций МЭ; U – критерий Манна–Уитни; Z – соответствует t-критерию Стьюдента для независимых выборок; полужирным шрифтом выделены элементы, различия концентраций которых хотя бы в одной из групп сравнения достоверны (при $p < 0,05$).

статистические совокупности величин концентраций отдельных элементов редко соответствуют нормальному распределению, часто ассиметричны и содержат сильно отклоняющиеся («выскакивающие») варианты [12].

Коэффициент статистической нестабильности (КСН), отражающий степень индивидуального разброса величины концентрации каждого элемента в волосах обследованных студентов Европейского и Азиатского Севера, позволил в зависимости от распределения и индивидуальных колебаний концентрации в волосах классифицировать изученные элементы как статистически стабильные (КСН от 1 до 10), среднестабильные (КСН от 11 до 40) и низкостабильные (КСН от 41 и выше) (табл. 3). Характерно, что в зависимости от половой принадлежности и региона проживания формируются различные по стабильности группы химических элементов.

Анализ корреляционных связей в структуре корреляционных плеяд у обследованных лиц позволил выявить некоторые особенности взаимоотношений между химическими элементами (рисунок). Максимальное число корреляцион-

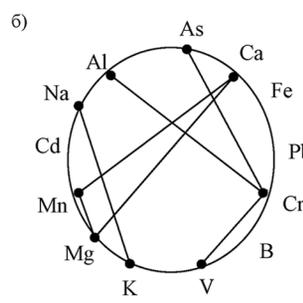
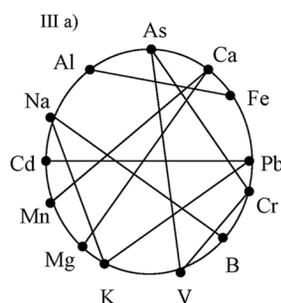
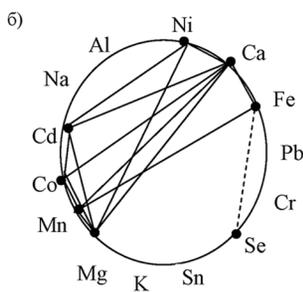
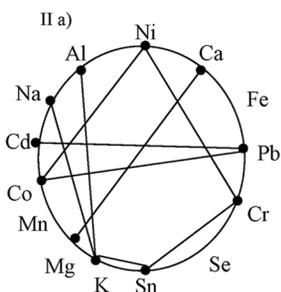
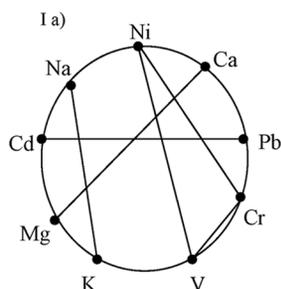
ных связей при уровне достоверности $p < 0,05$ обнаружено у студентов мужского пола из Магадана и составило 99, из них сильных прямых связей – 10, в то время как в структуре корреляционных плеяд студентов из Петрозаводска их оказалось 55 и 9, а в группе курсантов из Санкт-Петербурга – 67 и 6 соответственно. Характерно образование трех одинаковых пар элементов с положительной статистической значимой ($p < 0,05$) сильной связью в корреляционных плеядах студентов Санкт-Петербурга, Петрозаводска, Магадана: Ca/Mg ($r = 0,86$, $r = 0,80$, $r = 0,86$), Cd/Pb ($r = 0,79$, $r = 0,71$, $r = 0,89$), K/Na ($r = 0,83$, $r = 0,77$, $r = 0,78$) соответственно. В корреляционной плеяде девушек из Петрозаводска выявлена 81 связь, 15 – на уровне сильной ($p < 0,05$), у студенток из Магадана 23 и 7 соответственно. Аналогично структуре корреляционных связей в группе лиц мужского пола у девушек из Петрозаводска и Магадана образуется 3 пары элементов с положительной сильной связью ($p < 0,05$): Ca/Mg ($r = 0,90$, $r = 0,78$), Ca/Mn ($r = 0,79$, $r = 0,75$), Mg/Mn ($r = 0,87$, $r = 0,78$) соответственно. Таким образом, во всех исследуемых группах обнаружена корреля-

Таблица 3

Статистическая характеристика изученных элементов в зависимости от распределения и индивидуальных колебаний их концентрации в волосах студентов северных регионов России

Регион / Пол	Санкт-Петербург	Петрозаводск	Магадан	Характеристика стабильности элемента
Женский	нет данных	Al, P, Zn, I, V, As, Li, Se, Si	Al, P, Zn, I, Cu, B, Fe	стабильные
		Ca, Pb, Cu	Ca, Pb, As, Cr, Hg, Mg, Mn, Se	среднестабильные
		Cd, Co, K, Na, Ni, Sn, B, Cr, Fe, Hg, Mg, Mn	Cd, Co, K, Na, Ni, Sn, Li, Si, V	низкостабильные
Мужской	Cu, Fe, Zn, Li, P, Ca, Mg, Mn, Co, Se, B, Si, Sn, I	Cu, Fe, Zn, Li, P, Al, As, Ni, Co, Se, Cd, V	Cu, Fe, Zn, Li, P, Al, As, Ni, Ca, Mg, Mn, Cr	стабильные
	Hg, Na, Al, Cd, Ni, V	Sn, Na, Ca, I, K	Sn, Hg, B	среднестабильные
	Pb, K, Cr	Pb, Si, Cr, B, Hg, Mg, Mn	Pb, Si, K, Se, Cd, Co, Na, V, I	низкостабильные

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены одинаковые элементы в группах обследованных студентов женского и мужского пола соответственно; полу жирным шрифтом с подчеркиванием – в волосах студентов из Петрозаводска и Магадана; обычным шрифтом с подчеркиванием – в волосах студентов из Санкт-Петербурга и Магадана; курсивом – в волосах студентов из Санкт-Петербурга и Петрозаводска.



Структура корреляционных связей макро- и микроэлементов в организме студентов северных регионов России ($r > |0,7|$, $p < 0,05$): I – студенты Санкт-Петербурга; II – студенты Петрозаводска; III – студенты Магадана; а) лица мужского пола, б) лица женского пола; сплошная линия – положительные связи, пунктирная – отрицательные

ляционная пара Ca/Mg, при этом значения коэффициентов детерминации у юношей варьировали от $R = 0,64$ до $R = 0,74$ усл. ед., у девушек от $R = 0,61$ до $R = 0,81$ усл. ед., то есть степень проявления взаимовлияний в обнаруженной паре элементов значительная – 61–81 %. Однако величина коэффициента концентраций $K_{Ca/Mg}$ имела половую специфику: у женщин Карелии и Магадана она составила в среднем более 12 усл. ед. (12,24 и 12,73 соответственно), а у мужчин исследуемых регионов была ниже – 8,73 усл. ед. у мужчин Магадана, 8,9 – у мужчин Карелии и 9,55 – у курсантов Санкт-Петербурга. Полученные результаты согласуются с литературными данными о том, что у женщин по сравнению с мужчинами в волосах наблюдается существенно более высокое содержание Ca и Mg [3], [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При составлении элементного «портрета» организма студентов северных регионов установлено, что он имеет характерные черты так называемого северного типа с сочетанным дефицитом жизненно важных микроэлементов (50–90 % от числа обследованных): Co, Ca, Cu, Mg. Проведенные исследования показывают, что в различных северных регионах у молодых людей сопоставимого пола, возраста и образа жизни формируется свой особый элементный статус, параметры которого существенно отличаются от принятых физиологических нормативов, с умеренными и глубокими элементными нарушениями. В условиях Севера такого рода элементный дисбаланс может приводить к снижению адаптационных резервов организма. При этом хронический дефицит основных химических элементов в экстремальных северных условиях создает благодатную основу для развития дисфункций многих физиологических

ких процессов и формирования широкого спектра патологий.

В связи с этим одним из мероприятий в системе диспансеризации населения северных регионов должен стать контроль элементного со-

стояния организма молодых людей как основного трудового демографического потенциала страны, что позволит своевременно проводить оптимизацию питания в комплексе с обоснованной ранней коррекцией выявляемых нарушений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Марачев А. Г., Милованов А. П. Патология человека на Севере. М.: Медицина, 1985. 416 с.
2. Агаджанян Н. А., Ермакова Н. В. Экологический портрет человека на Севере. М.: КРУК, 1997. 205 с.
3. Агаджанян Н. А., Скальный А. В., Детков В. Ю. Элементный портрет человека: заболеваемость, демография и проблема управления здоровьем нации // Экология человека. 2013. № 11. С. 3–12.
4. Баранова О. В. Роль социально-гигиенических факторов в нарушении макро- и микроэлементного статуса у студентов // Вестник ОГУ. 2006. № 12. С. 31–33.
5. Горбачев А. Л., Ефимова А. В., Луговая Е. А., Бульбан А. П. Особенности элементного статуса жителей различных природно-географических территорий Магаданской области // Экология человека. 2003. № 6. С. 12–16.
6. Детков В. Ю. Элементный статус детского населения Северо-Западного федерального округа России // Микроэлементы в медицине. 2012. Т. 13. Вып. 2. С. 29–33.
7. Доршакова Н. В., Карапетян Т. А. Особенности патологии жителей Севера // Экология человека. 2004. № 6. С. 48–52.
8. 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 // Сб. тр. II Рос. симпозиума с междунар. участием «Световой режим, старение и рак», Петрозаводск, 17–19 окт. 2013. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. С. 96–103.
9. Корчин В. И., Багнетова Е. А. Региональные аспекты культуры здоровья молодежи среднего Приобья // Экология человека. 2007. № 4. С. 60–64.
10. Луговая Е. А., Атласова Е. М., Максимов А. Л. Элементный «портрет» детей 7–14 лет г. Магадана // Фундаментальные исследования. 2012. № 11. Ч. 4. С. 846–850.
11. Мельников А. А., Савин А. А., Емельянова Л. В., Видулов А. Д. Устойчивость позы во время статического напряжения до и после субмаксимального аэробного велоэргометрического теста у спортсменов // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 2. С. 66–72.
12. Рудаков И. А., Егорова Г. А., Скальный А. В., Шиц И. В. Коэффициент статистической нестабильности – дополнительный критерий при оценке результатов многоэлементного анализа волос // Микроэлементы в медицине. 2006. № 7 (4). С. 1–6.
13. Скальный А. В. Референтные значения концентраций химических элементов в волосах, полученные методом ИСП–АЭС (АНО Центр биотической медицины) // Микроэлементы в медицине. 2003. № 4 (1). С. 55–56.
14. Скальный А. В. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. М.: Эксмо, 2010. 175 с.
15. Суюпова М. С., Халикова С. С. Здоровье студентов как фактор сохранения трудового потенциала региона // Ученые заметки ТОГУ. 2013. Т. 4. № 4. С. 204–209.
16. Теддер Ю. Р. Эколого-гигиенические проблемы Европейского Севера // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Актуальные аспекты жизнедеятельности человека на Севере». Архангельск, 2006 / Экология человека. 2006. Приложение 4/1. С. 14–16.
17. Тихомиров Д. А. Демографический кризис и проблемы здоровья российской молодежи // Информационный гуманитарный портал «Знание. Понимание. Умение». 2013. № 5 (сентябрь – октябрь) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2013/5/>
18. Ушакова Я. В. Здоровье студентов и факторы его формирования // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Сер.: Социальные науки. 2007. № 4. С. 197–202.
19. The Significance of Hair Mineral Analysis as a Means for Assessing Internal Body Burdens of Environmental Pollutants (Report of an IAEA Coordinated Research Programme, NAHRES – 18). Vienna, 1993.

Stepanova E. M., Scientific Research Center “Arktika” FEB RAS (Magadan, Russian Federation)

Lugovaya E. A., Scientific Research Center “Arktika” FEB RAS, (Magadan, Russian Federation)

Vinogradova I. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ELEMENT “PORTRAIT” OF STUDENTS IN RUSSIAN NORTHERN REGIONS

The hair samples taken from students residing in the European North (St. Petersburg, Petrozavodsk) and Asian North (Magadan) were examined to study the content of 25 essential macro- and micro elements using the method of atom-emission and mass spectrometry with inductively bonded argon plasma. The found deficit in Co, Ca, Mg, and Cu is a common profile demonstrated by both examined groups. No pronounced misbalance was found in Al, As, B, Cd, Hg, Pb, Sn, and V. The analysis of median values of chemicals from examined hair samples enabled us to reveal a series of reliable region-related differences. All examinees were lower in Co, Ca, Mg, Se, as compared to the lower referent values. Petrozavodsk subjects were low in Cr and Na, and high in Zn, as compared to the lower and the upper referent values respectively. Students from Magadan and St. Petersburg were lower in Mn, as compared to the lower referent values. Male students from St. Petersburg demonstrated reliably higher B, Ca, Co, Fe, Mg and Se values, examined men from Petrozavodsk were reliably high in Hg, I, P and Zn, and Magadan male students showed As, Cd, Cr, K, Na, Si and V of rather high values. In regards to females, Magadan subjects were significantly high in Al, As, B, I, Na, Se, Si and V; hair samples from Petrozavodsk girl students were found to be significantly high in Cu, Zn and Hg. During correlation analysis, all examined male subjects demonstrated three equal pairs of elements with the positive and statistically significant ($p < 0,05$)

strong bond: Ca/Mg, Cd/Pb, and K/Na. In the correlation group of girls, the element portrait of Petrozavodsk and Magadan female subjects was reflected. There were also three pairs of elements with a positive strong bond ($p < 0,05$): Ca/Mg, Ca/Mn, and Mg/Mn. A chronic deficit in essential elements revealed in residents living in extreme conditions of the North can cause dysfunctions in many physiological processes and, therefore, initiate a broad spectrum of pathologies.

Key words: macro- and microelements, misbalance, students, north, adaptation

REFERENCES

1. Avtsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Marachev A. G., Milovanov A. P. *Patologiya cheloveka na Severe* [Human Pathology in the North]. Moscow, Meditsina Publ., 1985. 416 p.
2. Agadzhanyan N. A., Ermakova N. V. *Ekologicheskii portret cheloveka na Severe* [Ecological Portrait of Man in the North]. Moscow, KRUK Publ., 1997. 205 p.
3. Agadzhanyan N. A., Skal'nyy A. V., Detkov V. Yu. Element Portrait of Man: Morbidity, Demography and Problem of Maintaining the Nation's Health [Elementnyy portret cheloveka: zabelevaemost', demografiya i problema upravleniya zdorov'em natsii]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013. № 11. P. 3–12.
4. Baranova O. V. Role of social hygienic factors in macro- and micro element status disorders in students [Rol' sotsial'no-gigienicheskikh faktorov v narushenii makro- i mikroelementnogo statusa u studentov]. *Vestnik OGU* [The OGU Bulletin]. 2006. № 12. P. 31–33.
5. Gorbachev A. L., Efimova A. V., Lugovaya E. A., Bul'ban A. P. The profiles of the element status shown by residents of different natural geographic territories of Magadan region [Osobennosti elementnogo statusa zhiteley razlichnykh prirodno-geograficheskikh territoriy Magadanskoj oblasti]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2003. № 6. P. 12–16.
6. Detkov V. Yu. Element status of the children population of Russia's Northwestern Federal District [Elementnyy status detского naseleniya Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossii]. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2012. Vol. 13. Issue 2. P. 29–33.
7. Dorshakova N. V., Karapetyan T. A. Pathology peculiarities of the North residents [Osobennosti patologii zhiteley Severa]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004. № 6. P. 48–52.
8. Dorshakova N. V., Karapetyan T. A., Zhestyanikov A. L., Nikitina K. A. Implementation of the role of ecological factors in the process of pathology development and ageing of humans living in the North [Realizatsiya roli ekologicheskikh faktorov v protsesse razvitiya patologii i stareniya cheloveka, zhivushchego na Severe]. *Sb. tr. II Ros. simp. s mezhdunar. uchastiem "Svetovoy rezhim, starenie i rak"* [Coll. of papers of the IInd Rus. Symp. with Int. particip. "The Light Regime, Ageing and Cancer"] Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2013. P. 96–103.
9. Korchin V. I., Bagnetova E. A. Region-related aspects of the youth's health culture in the Middle Ob area [Regional'nye aspekty kul'tury zdorov'ya molodezhi srednego Priob'ya]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2007. № 4. P. 60–64.
10. Lugovaya E. A., Atlasova E. M., Maksimov A. L. Element "portrait" of 7–14 year-old children of Magadan [Elementnyy "portret" detey 7–14 let g. Magadana]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Researches]. 2012. № 11. Part 4. P. 846–850.
11. Mel'nikov A. A., Savin A. A., Emel'yanova L. V., Vikulov A. D. Stability of position during static stress before and after submaximal aerobic cycle ergometer test in sportsmen [Ustoychivost' pozy vo vremya staticheskogo napryazheniya do i posle submaksimal'nogo aerobnogo veloergometricheskogo testa u sportsmenov]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2012. Vol. 38. № 2. P. 66–72.
12. Rudakov I. A., Egorova G. A., Skal'nyy A. V., Shits I. V. Coefficient of statistic instability as an additional criterion at assessing results of multielement analysis of hair [Koeffitsient statisticheskoy nestabil'nosti – dopolnitel'nyy kriteriy pri otsenke rezul'tatov mnogoelementnogo analiza volos]. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2006. № 7 (4). P. 1–6.
13. Skal'nyy A. V. Reference values for hair chemicals' concentration obtained with the method of ICP-AES (ANO Center of Biotic Medicine) [Referentnye znacheniya kontsentratsiy khimicheskikh elementov v volosakh, poluchennye metodom ISP-AES (ANO Tsentr bioticheskoy meditsiny)]. *Mikroelementy v meditsine* [Trace Elements in Medicine]. 2003. № 4 (1). P. 55–56.
14. Skal'nyy A. V. *Mikroelementy: bodrost', zdorov'e, dolgoletie* [Trace elements: vigor, health, longevity]. Moscow, Eksmo Publ., 2010. 175 p.
15. Syupova M. S., Khalikova S. S. Students' health as a factor for maintaining the region employable potential [Zdorov'e studentov kak faktor sokhraneniya trudovogo potentsiala regiona]. *Uchenye zametki TOGU* [The TOGU Scientist's Notes]. 2013. Vol. 4. № 4. P. 204–209.
16. Tedder Yu. R. Ecological hygienic problems of European North [Ekologo-gigienicheskie problemy Evropeyskogo Severa]. *Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem "Aktual'nye aspekty zhiznedeyatel'nosti cheloveka na Severe"*. Arhangelsk, 2006 / *Ekologiya cheloveka* [Proceedings of all-Rus. sci. pract. Conf. with int. particip. / Human Ecology]. 2006. Annex 4/1. P. 14–16).
17. Tikhomirov D. A. Demographic crisis and problems of Russia's youth health [Demograficheskii krizis i problemy zdorov'ya rossiyskoy molodezhi]. *Informatsionnyy gumanitarnyy portal "Znanie. Ponimanie. Umenie"*. 2013. № 5 (sentyabr' – oktyabr'). Available at: www.zpu-journal.ru/e-zpu/2013/5/
18. Ushakova Ya. V. Students' health and factors of its development [Zdorov'e studentov i faktory ego formirovaniya]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo. Ser.: Sotsial'nye nauki* [The Bulletin of Nizhny Novgorod Lobachevski University. Series: Social Sciences]. 2007. № 4. P. 197–202.
19. The Significance of Hair Mineral Analysis as a Tool for Assessing Internal Body Burdens of Environmental Pollutants (Report of an IAEA Coordinated Research Program, NAHRES – 18). Vienna, 1993.

Поступила в редакцию 26.06.2014

НАТАЛИЯ ВЛАДИСЛАВОВНА СОЛОВЬЕВАдоктор медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой патологической физиологии, Северный государственный медицинский университет (Архангельск, Российская Федерация)
patophiz@yandex.ru

МЕХАНИЗМЫ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИЙ ПЕЧЕНИ И МИКРОБИОЦЕНОЗА ТОЛСТОЙ КИШКИ ПРИ ХРОНИЧЕСКИХ ВИРУСНЫХ ГЕПАТИТАХ В И С И ИХ ПРОБИОТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ

На основании проведенного комплекса биохимических и микробиологических исследований и корреляционного анализа установлено, что у больных хроническими гепатитами В (ХГВ) и С (ХГС) в механизмах нарушения функций печени, проявляющихся увеличением энзиматической активности (высокое содержание аспартатаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ), гамма-глутамилтрансферазы (ГГТ)), нарушениями обмена билирубина (высокое содержание общего и прямого), белка (низкое содержание альбумина у больных ХГС), важную роль играют дисбиотические сдвиги микробного гомеостаза толстой кишки с низким содержанием бифидо- и лактобактерий, высокой частотой встречаемости грибов рода Кандида, что подтверждается уменьшением количества и силы взаимосвязей между активностью ферментов, отсутствием корреляций между микроорганизмами при ХГВ, изменением их взаимосвязей с ферментами и показателями обменных процессов и свидетельствует о рассогласовании детоксицирующей и метаболической функций печени и микробиотического толстой кишки. После проведения курса терапии с применением пробиотических препаратов отмечается оптимизация микрофлоры толстой кишки с увеличением численности бифидо- и лактобактерий, уменьшением содержания грибов рода Кандида, а также активация их функций, что способствует увеличению функциональной способности печени и приводит к снижению активности ферментов (АСТ, ГГТ), содержания общего и прямого билирубина у больных ХГВ и ХГС, повышению – альбуминов при ХГС. Отражением этих изменений является восстановление корреляционных взаимосвязей микроорганизмов с активностью ферментов и параметрами обменных процессов.

Ключевые слова: печень, вирусы гепатитов В и С, дисбактериоз

ВВЕДЕНИЕ

Вирусы гепатита В и С являются одними из основных этиологических факторов, приводящих к развитию хронических заболеваний печени (ХЗП), при этом отмечается рост количества лиц молодого возраста, инфицированных ими и страдающих ХЗП [8], [13].

Отмечено, что при ХГВ и ХГС имеют место выраженные дисбиотические нарушения микрофлоры кишечника [21]. Сниженная детоксикационная функция микрофлоры при дисбиозе кишечника увеличивает нагрузку на ферментные системы печени, что способствует возникновению в ней метаболических и структурных изменений [14]. В то же время нарушения процессов синтеза и экскреции компонентов желчи при ХЗП могут привести к нарушению микробиотического кишечника [10], [17].

Современные подходы к противодействию патологическим изменениям при дисбиозе кишечника состоят в восстановлении и стимуляции облигатной флоры посредством применения пробиотических препаратов, которые оказывают положительное действие на физиологические функции организма путем оптимизации его микробиологического статуса [3], [4], [9]. Однако

механизмы минимизации нарушенных функций печени при применении пробиотических препаратов практически не изучены.

Целью работы явилось обоснование роли микрофлоры кишечника в механизмах повреждения печени при вирусных ее поражениях и применения пробиотических препаратов для оптимизации нарушенных функций кишечника и печени.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследовано 104 больных хроническими вирусными гепатитами (53,8 % мужчин и 46,2 % женщин), средний возраст $42,2 \pm 1,9$ года, из них ХГВ – 43 чел. (41,3 %) – I группа и ХГС – 35 чел. (33,6 %) – II группа с умеренной и слабовыраженной степенью активности. Достоверных различий в биохимических и микробиологических анализах по половому признаку обнаружено не было, в связи с чем в дальнейшем были сформированы группы больных ХГВ и ХГС без учета различий по полу. В соответствии с лечебными мероприятиями больные были разделены на подгруппы: пациенты в подгруппах I-а (53,4 % от больных ХГВ), II-а (51,4 % от больных ХГС) получали лечение по стандартной схеме, принятой в инфекционной практике, включавшей гепатопрот-

текторы, витамины группы В; больным подгрупп I-б (46,6 % от больных ХГВ), II-б (48,6 % от больных ХГС) помимо основного курса лечения проводилась коррекция дисбиоза толстого кишечника препаратами пробиотического действия «Альгибиф» и «Альгилак». Контрольную группу составили 26 практически здоровых мужчин. По возрастному составу указанные группы между собой достоверно не различались.

Обследование осуществлялось: в 1-е сут. госпитализации в инфекционное отделение областной клинической больницы г. Архангельска до начала лечения и после завершения курса терапии на 15–16-е сут. (к среднему времени снижения активности процесса) с повторным взятием фекалий через 2 сут. после окончания курса. Обследование контрольной группы проводилось однократно.

Проведено биохимическое исследование сыворотки крови с определением ферментативной активности АСТ, АЛТ, ГГТ, щелочной фосфатазы (ЩФ), содержания общего и прямого билирубина, показателей белкового и липидного обмена – общего белка, альбуминов, креатинина, мочевины, общего холестерина (ОХ), липопротеидов низкой (ЛПНП) и высокой плотности (ЛПВП), триглицеридов (ТГ), электролитов – калия, натрия, хлоридов.

Кишечную микрофлору изучали в соответствии с методическими рекомендациями МЗ РФ [7]. Количественное содержание основных представителей нормальной микрофлоры толстой кишки выражали в Ig КОЕ/г. Частоту обнаружения представителей нормальной микрофлоры толстой кишки определяли в процентах. Степень нарушений нормальной микрофлоры кишечника оценивали по ОСТ 91500.11.0004–2003 [12].

Статистическая обработка полученных результатов, оценка распределения показателей, сравнительный анализ выборок проведен с помощью компьютерного пакета прикладных программ SPSS 15.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основе патогенеза ХГВ и ХГС лежат иммуноопосредованное воспаление и повреждение гепатоцитов, для ХГС имеет значение также прямой цитопатический эффект вируса [15], [20]. В патогенезе вирусных гепатитов значительная роль принадлежит цитокинам, которые образуются в связи с активацией клеток Купфера эндотоксинами, поступающими из кишечника [6]. Эндотоксины, появляющиеся при увеличении пропорции потенциально патогенных грамотрицательных бактерий, повреждают клеточные мембраны, нарушают ионный транспорт, инициируют образование свободных радикалов, вызывают фрагментацию нуклеиновых кислот, инициирующих апоптоз, стимулируют продукцию провоспалительных цитокинов (ФНО- α , ИЛ-1,

ИЛ-6, ИЛ-8) клетками Купфера [16]. Это, в свою очередь, усугубляет ухудшение детоксикационной функции печени, нарушения обмена холестерина, желчных кислот, синтеза белка [5], [18].

Микрофлора толстой кишки также участвует в различных видах обмена. Так, лакто- и бифидобактерии синтезируют аминокислоты, белки, витамины группы В, никотиновую и фолиевую кислоты, клостридии, принимают участие в обмене билирубина. Липазы энтерококков и клостридий катализируют гидролиз водорастворимых эфиров жирных кислот, ТГ [2]. Поэтому изменение состава и функций микрофлоры толстой кишки может усугублять структурные и функциональные нарушения в печени.

В проведенном нами ранее исследовании [19] было показано, что наличие дисбиоза толстой кишки с преобладанием тяжелых степеней имело место у 86,1 % больных ХГВ и 91,8 % больных ХГС.

Анализ микробиоценоза толстой кишки выявил снижение численности бифидобактерий на 11,2 % ($p = 0,03$) у больных ХГВ, лактобактерий – на 17,9 % ($p = 0,04$) при ХГВ и на 18,3 % ($p = 0,04$) при ХГС по сравнению с контрольной группой. Достоверно ниже – в 2 раза ($p < 0,001$) – была частота встречаемости энтерококков при ХГВ и в 3,6 раза ($p < 0,001$) – при ХГС, но выше – грибов рода Кандида – в 1,4 раза ($p = 0,004$) в обоих случаях. У всех больных высевались клостридии, которые отсутствовали у здоровых лиц.

Изменения кишечного микробиоценоза наблюдались на фоне повышения активности ферментов: АСТ – в 2 раза ($p < 0,001$) при ХГВ и в 1,5 раза ($p = 0,008$) при ХГС; АЛТ в 3 раза ($p < 0,001$) у больных ХГВ, в 2,5 раза ($p < 0,001$) у больных ХГС; активность ГГТ также была выше в 2,2 раза ($p < 0,001$) у больных ХГВ и в 2,4 раза ($p < 0,001$) при ХГС по сравнению с контрольной группой.

У пациентов обеих обследуемых групп наблюдались явления холестаза. Так, содержание общего билирубина по сравнению с контрольной группой было выше у больных ХГВ в 2 раза ($p < 0,001$), у пациентов с ХГС – в 1,67 раза; прямого билирубина – в 2,5 раза ($p < 0,001$) и в 2 раза ($p < 0,01$) соответственно. Содержание альбуминов по сравнению с контрольной группой было ниже на 8,7 % ($p = 0,04$) у пациентов с ХГС.

Для установления роли микроорганизмов толстой кишки в механизмах нарушения функций печени при вирусных ее поражениях мы провели анализ корреляционных взаимосвязей функций печени и микробиоценоза толстой кишки. На основании литературных данных, результатов собственных исследований и анализа корреляционных связей нами сформулированы механизмы поражений печени при вирусных ее поражениях с учетом микробиологической составляющей толстой кишки.

У здоровых лиц (рис. 1) корреляционный анализ продемонстрировал наличие сильных внут-

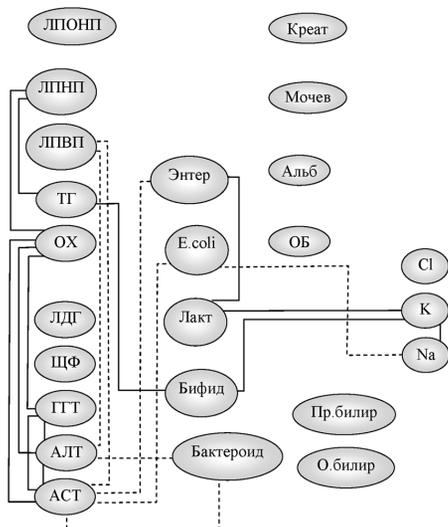


Рис. 1. Корреляционные взаимосвязи биохимических и микробиологических показателей у лиц контрольной группы: сплошная линия – прямая корреляционная взаимосвязь, пунктирная линия – обратная корреляционная взаимосвязь

рисистемных связей активности ферментов, показателей липидного обмена, указывающих на достаточную детоксикационную и метаболическую функции печени. Были выявлены корреляции энзимологических показателей крови: АСТ с АЛТ ($\tau = 0,73$, при $p < 0,001$), ГГТ с АСТ и АЛТ ($\tau = 0,54$, при $p = 0,005$; $\tau = 0,61$, при $p = 0,004$); параметров липидного обмена: ЛПНП с ОХ ($\tau = 0,94$, при $p < 0,001$); ЛПНП с ТГ ($\tau = 0,85$, при $p < 0,001$).

Наблюдались сильные положительные корреляционные взаимосвязи между лактобактериями и энтерококками ($\tau = 0,94$, при $p < 0,005$), иллюстрирующие физиологически адекватное функционирование системы микробного гомеостаза.

Отмечены немногочисленные корреляции биохимических и микробиологических показателей, что может указывать на относительно неза-

висимое и адекватное функционирование печени и микробиоценоза толстой кишки. Однако наличие взаимосвязей микроорганизмов с активностью ферментов и параметрами липидного обмена свидетельствует о сопряженном функционировании систем детоксикации печени и микрофлоры толстой кишки: энтерококков с АСТ ($\tau = -0,42$, при $p = 0,01$), кишечной палочки с АСТ ($\tau = -0,37$, при $p = 0,01$), бактероидов с АСТ и АЛТ ($\tau = -0,63$, при $p = 0,01$; $\tau = -0,62$, при $p = 0,01$ соответственно); бифидобактерий с ТГ ($\tau = 0,56$, при $p = 0,05$).

В целом проведенный корреляционный анализ у здоровых лиц показал адекватную степень внутрисистемного сопряжения ферментативных систем, метаболических функций печени и микробного гомеостаза.

На высоте обострения ХГВ и ХГС было отмечено изменение внутрисистемных корреляций по сравнению со здоровыми лицами (рис. 2). Так, наблюдалось уменьшение численности и силы внутрисистемных корреляционных зависимостей между активностью ферментов: АСТ и АЛТ ($\tau = 0,33$, $p = 0,04$) при ХГВ и АСТ с АЛТ ($\tau = 0,51$, $p = 0,006$) при ХГС. При этом у больных ХГС регистрировалось появление значимых корреляционных взаимосвязей показателей белкового обмена: содержание альбуминов обнаружило корреляции с общим белком ($\tau = 0,85$, $p < 0,001$), что может свидетельствовать о напряжении белково-синтетической функции печени.

Отмечено отсутствие взаимосвязей между микроорганизмами у больных ХГВ, в то время как при ХГС обнаружены новые корреляции бактероидов с клостридиями и лактозонегативными кишечными палочками ($\tau = 0,55$, при $p = 0,06$; $\tau = 0,94$, при $p < 0,001$ соответственно).

Отличительной особенностью у больных с ХЗП от контрольной группы явилось появление корреляций микроорганизмов с показателями белкового обмена. При ХГВ обнаружены

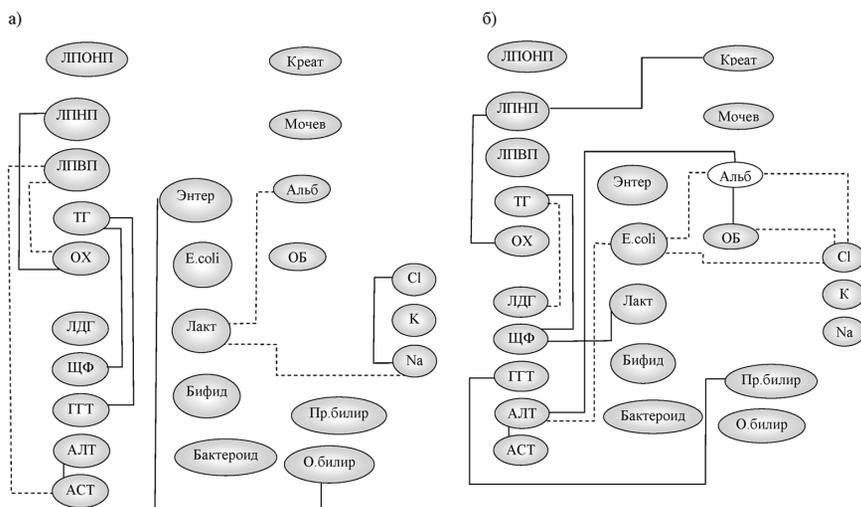


Рис. 2. Корреляционные взаимосвязи биохимических и микробиологических показателей у больных хроническими гепатитами В и С в 1-е сутки: а) ХГВ; б) ХГС. Сплошная линия – прямая корреляционная взаимосвязь, пунктирная линия – обратная корреляционная взаимосвязь

корреляции между низким содержанием лактобактерий и альбуминами ($\tau = -0,39$, при $p < 0,05$); у больных ХГС – численности кишечной палочки с низким содержанием альбуминов ($\tau = -0,47$, при $p < 0,05$).

У больных обследуемых групп появились корреляционные взаимосвязи микроорганизмов с показателями обмена билирубина: при ХГВ – количества энтерококков с содержанием общего билирубина ($\tau = 0,34$, при $p = 0,04$); при ХГС – численности клостридий с содержанием прямого билирубина ($\tau = 0,70$, при $p < 0,001$).

У больных ХГВ отсутствовали корреляции облигатных представителей микрофлоры с активностью ферментов. При ХГС имела место иная картина: содержание кишечной палочки обнаружило сильную отрицательную связь с активностью АЛТ ($\tau = -0,81$, $p < 0,001$), что свидетельствует о включении данных микроорганизмов, наряду с печенью, в процессы детоксикации.

Следовательно, при действии вирусов гепатитов В и С наблюдается изменение взаимодействия детоксицирующей и метаболической функций печени и микрофлоры толстой кишки.

После проведения курса терапии наблюдалось статистически значимое изменение ферментативной активности сыворотки крови у больных, получавших пробиотики. Так, активность АСТ снизилась в 1,2 раза ($p = 0,03$) у пациентов ХГВ I-б подгруппы, в 2,3 раза ($p < 0,001$) – у больных ХГС II-б подгруппы по сравнению с I-ми сут., тогда как в I-а, II-а подгруппах снижение активности фермента было меньшим. Статистически значимое снижение АЛТ в 1,5 раза ($p < 0,05$) имело место только у больных ХГС во II-б подгруппе. Нами отмечено более выраженное уменьшение активности ГГТ у больных после лечения с применением пробиотиков. При ХГВ снижение ГГТ отмечалось в I-б подгруппе в 1,8 раза ($p = 0,04$), тогда как у больных I-а подгруппы – в 1,3 раза ($p = 0,03$); при ХГС во II-б подгруппе данный показатель снизился в 1,7 раза ($p < 0,01$).

Было установлено уменьшение проявлений синдрома холестаза. Так, у пациентов ХГВ в I-б подгруппе содержание общего билирубина снизилось в 1,7 раза ($p < 0,001$) по сравнению с I-ми сут., в то время как в I-а – только в 1,3 раза ($p = 0,02$). Снижение содержания прямого билирубина было более интенсивным в I-б подгруппе в 2,4 раза ($p = 0,001$) и большим по сравнению с I-а подгруппой в 1,8 раза ($p = 0,001$). У пациентов ХГС во II-б подгруппе содержание общего билирубина снизилось в 2 раза ($p < 0,001$), прямого билирубина – в 2,5 раза ($p < 0,01$). У больных ХГС II-б подгруппы также имело место увеличение содержания альбуминов ($p < 0,05$) сыворотки крови.

У пациентов, получавших лечение с применением препаратов с пробиотическим действием, отмечалось значительное увеличение содержания облигатных микроорганизмов толстой кишки.

Так, содержание бифидобактерий увеличилось на 22,5 % ($p = 0,01$) при ХГВ в I-б подгруппе, при ХГС во II-б подгруппе еще более значимо – на 24,7 % ($p = 0,003$) по сравнению с I-ми сут. Численность лактобактерий возросла у больных ХГВ в I-б подгруппе на 27,9 % ($p = 0,03$).

Включение пробиотиков в комплекс лечения больных ХГВ и ХГС способствовало снижению частоты встречаемости грибов рода Кандида в 4,5 раза ($p = 0,03$) при ХГВ в I-б подгруппе и в 4,1 раза ($p = 0,04$) при ХГС во II-б подгруппе. Отмечено уменьшение частоты встречаемости клостридий в 1,3 раза ($p = 0,02$) и в 1,2 раза ($p = 0,03$) соответственно. При традиционной терапии значимого повышения содержания облигатных представителей микрофлоры и снижения условно-патогенных микроорганизмов (УПМ) выявлено не было.

После проведения общепринятой терапии изменилась структура корреляционных связей по сравнению с исходным состоянием (рис. 3). Установлено усиление корреляционных связей между активностью ферментов у больных ХГВ: в I-а подгруппе активности АСТ – с ЛДГ ($\tau = 0,75$; при $p < 0,001$), ГГТ – с АСТ ($\tau = 0,61$; при $p = 0,004$). При этом не наблюдалось взаимосвязей между микроорганизмами, как и в I-е сут., однако численность энтерококков обнаружила корреляции с альбуминами ($\tau = -0,62$, при $p = 0,004$); бифидобактерий – с содержанием ОХ ($\tau = -0,58$, при $p = 0,05$).

У пациентов ХГС II-а подгруппы исчезли корреляции микроорганизмов с параметрами белкового обмена, но появились взаимосвязи энтерококков с АСТ ($\tau = 0,81$, при $p < 0,001$) и ГГТ ($\tau = 0,93$, при $p < 0,001$).

Наличие корреляционных связей облигатных микроорганизмов с показателями липидного и белкового обмена у больных ХГВ с ферментами у больных ХГС может указывать на включение представителей микрофлоры в процессы метаболизма и детоксикации, однако изменение их полярности по сравнению с I-ми сут. свидетельствует о недостаточной их функции.

Отсутствие статистически значимого снижения активности ферментов и повышения содержания облигатных представителей микрофлоры толстой кишки свидетельствует о том, что стандартная терапия не в полной мере способствует активации нарушенных функций.

После пробиотической коррекции (рис. 4) имели место корреляционные взаимосвязи облигатных представителей микрофлоры с активностью ферментов: численности кишечной палочки – с активностью АСТ ($\tau = -0,52$, при $p = 0,008$), энтерококков – с ЩФ ($\tau = -0,69$, при $p < 0,002$) у больных ХГВ I-б подгруппы; бактериоидов – с активностью АСТ ($\tau = -0,57$, при $p = 0,008$) у больных ХГС II-б подгруппы. Выявлены корреляции облигатных микроорганизмов

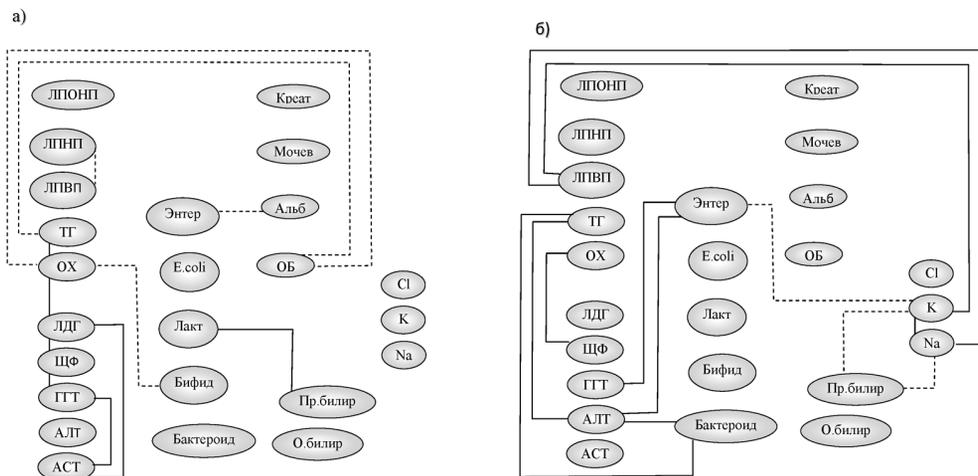


Рис. 3. Корреляционные взаимосвязи биохимических и микробиологических показателей у больных хроническими гепатитами В и С после традиционного лечения: а) I-а подгруппа; б) II-а подгруппа. Сплошная линия – прямая корреляционная взаимосвязь, пунктирная линия – обратная корреляционная взаимосвязь

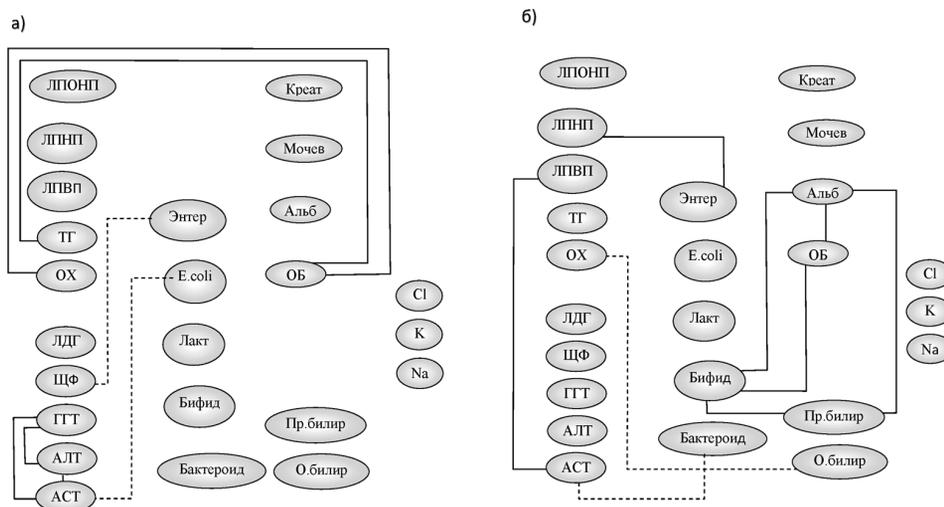


Рис. 4. Корреляционные взаимосвязи биохимических и микробиологических показателей у больных хроническими гепатитами В и С после лечения с пробиотиками: а) I-б подгруппа; б) II-б подгруппа. Сплошная линия – прямая корреляционная взаимосвязь, пунктирная линия – обратная корреляционная взаимосвязь

с показателями белкового (бифидобактерии – альбумины, $\tau = 0,84$, при $p = 0,05$), пигментного (бифидобактерии – прямой билирубин, $\tau = 0,71$, при $p = 0,002$), липидного видов обмена (энтерококки – ЛПНП, $\tau = 0,79$, при $p = 0,001$) у пациентов ХГС II-б подгруппы. Наблюдалось сопряжение функций печени и микробиоценоза толстой кишки, что подтверждалось приближением характера взаимосвязей микроорганизмов с активностью ферментов, параметрами метаболических процессов к тому, что имело место в контроле.

Вышеуказанные изменения позволяют считать, что напряжение метаболической и детоксикационной функций печени после проведения биокоррекции уменьшилось в значительно большей степени, чем при традиционной терапии. Следовательно, механизм действия микроорганизмов, входящих в состав пробиотиков, заключается в повышении колонизационной резистен-

тности за счет стимуляции роста собственных бифидо- и лактобактерий (статистически значимое увеличение содержания бифидобактерий у больных ХГВ и ХГС; лактобактерий у больных ХГВ), снижения содержания УПМ (частоты встречаемости грибов рода Кандида и клостридий).

Имеются указания на то, что увеличение численности облигатных микроорганизмов и уменьшение УПМ сопровождается усилением иммуномодулирующей и метаболической роли микрофлоры, уменьшением цитокин-опосредованного и токсического влияния на печень [1]. Активация функций микроорганизмов толстой кишки способствует минимизации нарушенных функций печени [11].

В нашем исследовании оптимизация функций печени связана с уменьшением эндотоксемии на фоне снижения содержания УПМ, участием микрофлоры в иммунных, обменных процессах, что

доказывается снижением активности ферментов (АСТ, ГГТ), маркеров холестаза (общего и прямого билирубина) у больных ХГВ и ХГС, повышением содержания альбуминов у больных ХГС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в механизмах нарушения гомеостаза при ХГВ и ХГС играют роль изменения функций печени и микробиоценоза толстой кишки, выражающиеся в увеличении энзиматической активности, повышении содержания общего и прямого билирубина, низком содержании альбуминов при ХГС, которые сопровождаются дисбиотическими сдвигами микробного гомеостаза (низким содержанием бифидо- и лактобактерий, высокой частотой встречаемости грибов рода Кандида, клостридий), ослаблением корреляционных связей между активностью ферментов у пациентов обеих групп, отсутствием их между микроорганизмами

у больных ХГВ; появлением новых корреляционных зависимостей между двумя системами: содержания микроорганизмов – с показателями белкового обмена, но отсутствия их с ферментами.

На фоне назначения пробиотиков отмечается оптимизация микробиоценоза толстой кишки (повышение численности бифидобактерий, лактобактерий, снижение содержания грибов рода Кандида, клостридий). Включение микроорганизмов в процессы детоксикации и метаболизма способствует минимизации нарушенных функций печени (снижение активности АСТ и ГГТ при ХГВ и ХГС, АЛТ – у больных ХГС, снижение уровня общего и прямого билирубина при ХГВ и ХГС, повышение содержания альбуминов у больных ХГС), что подтверждается восстановлением корреляционных взаимосвязей представителей микрофлоры толстой кишки с активностью ферментов и показателями обменных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барановский А. Ю., Кондрашина О. А. Дисбактериоз кишечника. М.: Питер, 2008. 240 с.
2. Бельмер С. В., Малкоч А. В. Кишечная микрофлора и значение пребиотиков для ее функционирования // Лечащий врач. 2006. № 4. С. 60–65.
3. Бондаренко В. М., Грачева Н. М. Пробиотики, пребиотики и синбиотики в терапии и профилактике кишечных дисбиозов // Фарматека. 2003. № 7. С. 56–63.
4. Буеверов А. О., Богомолов П. О., Маевская М. В. Патогенетическое лечение неалкогольного стеатогепатита: обоснование эффективности, безопасность // Тер. архив. 2007. № 8. С. 88–92.
5. Закиров И. Г. Микробиология толстого кишечника больных хроническими вирусными гепатитами // Казанский мед. журн. 2002. № 1. С. 38–40.
6. Ивашкин В. Т., Денисов Н. Л. Местный иммунитет и микробиоценоз при заболеваниях кишечника // Рос. журн. гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2009. № 6. С. 11–16.
7. Лобзин Ю. В., Макарова В. Г., Корвякова Е. Р. и др. Дисбактериоз кишечника: Руководство для врачей. СПб.: ФОЛИАНТ, 2006. 256 с.
8. Маев И. В., Самсонов А. А., Плотников Е. Ю. и др. Пробиотики и пребиотики в клинической практике // Фарматека. 2011. № 5. С. 33–40.
9. Маевская М. В. Возможности применения пробиотиков в гастроэнтерологии // Рос. журн. гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2009. № 6. С. 65–72.
10. Максимов С. Л., Царенко С. П., Кравченко А. В. и др. Маркеры хронического гепатита В у больных ВИЧ-инфекцией и подходы к терапии // Рос. журн. гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2010. Т. 20. № 5. С. 22–26.
11. Маянский А. Н. Дисбактериоз: современный взгляд на проблему // Новые мед. технологии. 2002. № 2. С. 28–30.
12. Отраслевой стандарт «Протокол ведения больных. Дисбактериоз кишечника» (ОСТ 91500.11.0004–2003, Приказ Министерства здравоохранения РФ № 231 от 09.06.2003).
13. Павлов Ч. С., Бакулин И. Г. Вирус гепатита В – основной этиологический фактор хронического гепатита, цирроза печени и гепатоцеллюлярной карциномы // Рус. мед. журнал. 2008. № 4. Т. 16. С. 157–160.
14. Петухов В. А., Стернина Л. А., Травкин А. Е. Нарушения функций печени и дисбиоз при липидном дистресс-синдроме Савельева: современный взгляд на проблему // Consilium Medicum. 2004. Т. 6. № 6. С. 406–409.
15. Подымова С. Д. Болезни печени. М.: Медицина, 2005. 767 с.
16. Радченко В. Г., Селиверстов П. В., Тетерина Л. А. Дисбиоз кишечника и хронические заболевания печени // Санкт-Петербургские врачебные ведомости. 2010. № 2. С. 61–65.
17. Селиверстов П. В., Чихачева Е. Н., Тетерина Л. А. Коррекция нарушений микробиоценоза кишечника на фоне хронических заболеваний печени // Врач. 2011. № 3. С. 18–24.
18. Созинов А. С. Кишечная микрофлора и сопутствующие заболевания желудочно-кишечного тракта у больных хроническими вирусными гепатитами В и С // Журн. микробиологии, эпидемиологии и иммунологии. 2002. № 1. С. 61–64.
19. Соловьева Н. В., Бажукова Т. А., Агафонов В. М. Пробиотическая коррекция нарушений функций печени и микробиологии толстой кишки при хронических вирусных гепатитах // Экология человека. 2012. № 3. С. 37–41.
20. Сологуб Т. В., Эсауленко Э. В., Романцов М. Г., Фолитар И. В., Малеев В. В. Носительство HBs Ag: состояние или болезнь? // Инфекционные болезни. 2008. № 3. Т. 6. С. 5–10.
21. Ткаченко Е. Н., Суворова А. Н. Дисбиоз кишечника: Руководство по диагностике и лечению. СПб.: Информ-Мед, 2009. 278 с.

Solov'eva N. V., Northern State Medical University (Arkhangelsk, Russian Federation)

MECHANISMS OF LIVER FUNCTIONS AND LARGE INTESTINE MICROBIOCENOSIS DISORDERS IN CHRONIC B AND C VIRAL HEPATITIS AND THEIR PROBIOTIC CORRECTION

Based on the complex of biochemical and microbiological studies and subsequent correlation analysis it was established that chronic Hepatitis B (CHB) and C (CHC) in mechanisms of the liver functions' disorders manifested through increased enzymatic activity

(high content of aspartate aminotransferase (AAT), alanine aminotransferase (ALT), gamma glutamine transferase (GGT), bilirubin metabolism disorders (high content of total and direct bilirubin), protein (albumin low content in patients with CHC) is affected by pronounced dysbiotic shifts of microbial homeostasis of the big intestine with low content of bifid bacteria and lactic acid bacilli, and high frequency of *Candida* fungi appearance. This fact was confirmed by the much lower intensity of interrelations between enzymic activity, absence of correlations between microorganisms in CHB, and a change in their interrelations with enzymes. The indices of metabolic processes indicate desynchronization of detoxication and metabolic functions in the liver and development of intestine microbiocenosis. After a course of therapy with application of probiotic preparations, optimization of the big intestine microflora an increased number of bifid bacteria and lactic acid bacilli was registered. The low content of *Candida* fungi as well as activation of their functions contributed to the increase in the liver functional ability and resulted in lower enzymatic activity (AAT, GGT). It lead to the increase in the content of total and direct bilirubin in the patients with CHB and CHC, to the high content of albumins in CHC. The changes were reflected in restored correlations between microorganisms, elevated enzymatic activity, and parameters of metabolic processes.

Key words: liver, viruses of Hepatitis B and C, dysbacteriosis

REFERENCES

1. Baranovskiy A. Yu., Kondrashina O. A. *Disbakterioz kishechnika* [Dysbacteriosis of the intestine]. Moscow, Piter Publ., 2008. 240 p.
2. Bel'mer S. V., Malkoch A. V. Intestinal microflora and the value of prebiotics for its functioning [Kishechnaya mikroflora i znachenie prebiotikov dlya ee funktsionirovaniya]. *Lechashchiy vrach* [Physician]. 2006. № 4. P. 60–65.
3. Bondarenko V. M., Gracheva N. M. Probiotics, prebiotics and synbiotics in the treatment and prevention of intestinal dysbiosis [Probiotiki, prebiotiki i sinbiotiki v terapii i profilaktike kishechnykh disbiozov]. *Farmateka* [Farmateka]. 2003. № 7. P. 56–63.
4. Bueverov A. O., Bogomolov P. O., Maevskaya M. V. Pathogenetic treatment of nonalcoholic steatohepatitis: a study of the effectiveness, safety [Patogeneticheskoe lechenie nealkogol'nogo steatogepatita: obosnovanie effektivnosti, bezopasnost']. *Ter. arkhiv* [Ter archive]. 2007. № 8. P. 88–92.
5. Zakirov I. G. Microecology of the large intestine in patients with chronic viral hepatitis [Mikroekologiya tolstogo kishechnika bol'nykh khronicheskimi virusnymi gepatitami]. *Kazanskiy med. zhurn.* [Kazan Medical Journal]. 2002. № 1. P. 38–40.
6. Ivashkin V. T., Denisov N. L. Local immunity and microbiocenosis in bowel diseases [Mestnyy immunitet i mikrobiotsenoz pri zabolevaniyakh kishechnika]. *Ros. zhurn. gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii* [Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology]. 2009. № 6. P. 11–16.
7. Lobzin Yu. V., Makarova V. G., Korvyakova E. R. i dr. *Disbakterioz kishechnika: Rukovodstvo dlya vrachey* [Dysbacteriosis of the intestine: Doctors' manual]. St. Petersburg, FOLIANT Publ., 2006. 256 p.
8. Maev I. V., Samsonov A. A., Plotnikov E. Yu. i dr. Probiotics and prebiotics in clinical practice [Probiotiki i prebiotiki v klinicheskoy praktike]. *Farmateka* [Farmateka]. 2011. № 5. P. 33–40.
9. Maevskaya M. V. Possible use of probiotics in gastroenterology [Vozmozhnosti primeneniya probiotikov v gastroenterologii]. *Ros. zhurn. gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii* [Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology]. 2009. № 6. P. 65–72.
10. Maksimov S. L., Tsarenko S. P., Kravchenko A. V. i dr. Markers of chronic hepatitis B in HIV-infected patients and approaches to therapy [Markery khronicheskogo gepatita B u bol'nykh VICH-infektsiey i podkhody k terapii]. *Ros. zhurn. gastroenterologii, gepatologii, koloproktologii* [Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology, Coloproctology]. 2010. Vol. 20. № 5. P. 22–26.
11. Mayanskiy A. N. Dysbacteriosis: a modern view on the problem [Disbakterioz: sovremennyy vzglyad na problemu]. *Novye med. tekhnologii* [New medical Technologies]. 2002. № 2. P. 28–30.
12. *Otraslevoy standart "Protokol vedeniya bol'nykh. Disbakterioz kishechnika" OST 91500.11.0004–2003, Prikaz Ministerstva zdravookhraneniya RF № 231 ot 09.06.2003* [Url Standard Protocol for patient management. Dysbacteriosis of the intestine. The Ministry of health of the Russian Federation № 231 of 09.06.2003].
13. Pavlov Ch. S., Bakulin I. G. Virus hepatitis B – the main etiological factor of chronic hepatitis, cirrhosis and hepatocellular carcinoma [Virus gepatita B – osnovnoy etiologicheskii faktor khronicheskogo gepatita, tsirroza pecheni i gepatotsellyulyarnoy kartsinomy]. *Rus. med. zhurnal* [Rus. Medical Journal]. 2008. № 4. Vol. 16. P. 157–160.
14. Petukhov V. A., Sternina L. A., Travkin A. E. Violations of the liver and dysbiosis under lipid distress-syndrome Savelyeva: a modern view on the problem [Naruseniya funktsiy pecheni i disbioz pri lipidnom distress-sindrome Savel'eva: sovremennyy vzglyad na problemu]. *Consilium Medicum* [Consilium Medicum]. 2004. Vol. 6. № 6. P. 406–409.
15. Podymova S. D. *Bolezni pecheni* [Liver Disease]. Moscow, Medicine Publ., 2005. 767 p.
16. Radchenko V. G., Seliverstov P. V., Teterina L. A. Intestinal dysbiosis and chronic liver disease [Disbioz kishechnika i khronicheskoe zabolevaniya pecheni]. *Sankt-Peterburgskie vrachebnye vedomosti* [St. Petersburg Medical Gazette]. 2010. № 2. P. 61–65.
17. Seliverstov P. V., Chikhacheva E. N., Teterina L. A. Disorders' correction of microbiocenosis in intestines in the face of chronic liver disease [Korreksiya narusheniy mikrobiotsenoza kishechnika na fone khronicheskikh zabolevaniy pecheni]. *Vrach* [Doctor]. 2011. № 3. P. 18–24.
18. Sozinov A. S. Intestinal microflora and concomitant diseases of the gastrointestinal tract in patients with chronic viral hepatitis b and C [Kishechnaya mikroflora i soputstvuyushchie zabolevaniya zheludochno-kishechnogo trakta u bol'nykh khronicheskimi virusnymi gepatitami B i C.]. *Zhurn. mikrobiologii, epidemiologii i immunologii* [Journal of Microbiology, epidemiology and immunology]. 2002. № 1. P. 61–64.
19. Solov'eva N. V., Bazhukova T. A., Agafonov V. M. Probiotic correction of violations of the liver and microecology of the large intestine in chronic viral hepatitis [Probioticheskaya korrektsiya narusheniy funktsiy pecheni i mikroekologii tolstoy kishki pri khronicheskikh virusnykh gepatitakh]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012. № 3. P. 37–41.
20. Sologub T. V., Esaulenko E. V., Romantsov M. G., Folitar I. V., Maleev V. V. Carriers of HBs A condition or a disease? [Nositel'stvo HBs Ag: sostoyanie ili bolezni?]. *Infektsionnye bolezni* [Infectious diseases]. 2008. № 3. Vol. 6. P.5–10.
21. Tkachenko E. N., Suvorova A. N. *Disbioz kishechnika: Rukovodstvo po diagnostike i lecheniyu* [Intestinal Dysbiosis. Guidelines for diagnosis and treatment]. St. Petersburg, InformMed Publ., 2009. 278 p.

УДК 616.1–02:613.84;1–02:547.262.616.1–036.88–02:613.81

ГЕННАДИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ УСЕНКО

доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной терапии и клинической фармакологии лечебного факультета, Новосибирский государственный медицинский университет (Новосибирск, Российская Федерация)
usenko1949@mail.ru

АЛЕКСАНДР АРИСТАРХОВИЧ ДЕМИН

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии и клинической фармакологии лечебного факультета, Новосибирский государственный медицинский университет (Новосибирск, Российская Федерация)
alexdemmin2006@yandex.ru

АНДРЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ УСЕНКО

кандидат медицинских наук, врач кабинета функциональной диагностики, Новосибирский областной госпиталь № 2 ветеранов войн (Новосибирск, Российская Федерация)
h2vv@mail.ru

ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ ВАСЕНДИН

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

ОСОБЕННОСТИ РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ СОСУДИСТОЙ СТЕНКИ У БОЛЬНЫХ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ ТЕМПЕРАМЕНТОМ И УРОВНЕМ ТРЕВОЖНОСТИ

Цель работы – определить толщину комплекса «интима-медиа» плечевой артерии у мужчин с различным темпераментом, высокой и низкой тревожностью, страдающих артериальной гипертензией (АГ) II стадии, 2-й степени, риск 3, и оценить возможность «эмпирической» 18-месячной антигипертензивной терапии приблизить значения комплекса «интима-медиа» к таковой у здоровых лиц соответствующего темперамента. В амбулаторных условиях обследованы мужчины ($n = 413$, средний возраст $54,2 \pm 1,8$ года), страдающие АГ-II. Группа контроля – 415 здоровых мужчин. Изучали толщину комплекса «интима-медиа», диаметр и линейную скорость кровотока плечевой артерии у высоко- и низкотревожных холериков, сангвиников, флегматиков и меланхоликов, а также активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, содержание кортизола и альдостерона как гормонов, влияющих на рост и пролиферацию клеток и тканей. Антигипертензивная терапия включала ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента или β -адреноблокаторы и диуретики без целенаправленного купирования превалирующей активности симпатической нервной системы или активности ренин-ангиотензин-альдостероновой системы у пациента. Такая терапия названа эмпирической. Депрессивность легкой степени у высокотревожных флегматиков и меланхоликов купировалась антидепрессантом, а высокая тревожность у холериков и сангвиников – анксиолитиком. У высоко- и низкотревожных холериков и сангвиников превалировала активность симпатического, а у флегматиков и меланхоликов – парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Содержание альдостерона, толщина комплекса «интима-медиа» и линейная скорость кровотока увеличивались, а содержание кортизола и диаметр плечевой артерии снижались в ряду: холерики – сангвиники – флегматики – меланхолики. У высокотревожных лиц значения показателей были менее позитивны, чем у низкотревожных, а у пациентов – хуже, чем у здоровых лиц соответствующего темперамента. В процессе 18-месячной эмпирической антигипертензивной терапии не достигнуто выравнивания значений изучаемых показателей с таковыми у здоровых лиц соответствующего темперамента. В группах высокотревожных флегматиков и меланхоликов доля лиц с осложнениями была в 1,5 раза выше, чем в группах высокотревожных холериков и сангвиников. Группы высокотревожных флегматиков и меланхоликов относятся к группам риска тяжелого течения АГ.

Ключевые слова: артериальная гипертензия, темперамент, тревожность, эффект лечения

Демографические данные свидетельствуют о том, что лидирующие позиции в снижении продолжительности жизни занимают ишемическая

болезнь сердца (ИБС) и АГ [6]. На течение АГ и ИБС существенно сказываются многие факторы, включая высокое психоэмоциональное напря-

жение, тревожность и депрессивные тенденции [2], [7], [13], [15]. Психоэмоциональное напряжение не всегда купируется врачами, а недостаточный учет активности симпатического (SNS) и парасимпатического (PSNS) отделов вегетативной нервной системы (ВНС), а также ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (РААС) приводит к преимущественному назначению ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента в случаях с превалированием влияний SNS, а при превалировании влияний РААС – β -адреноблокаторов [4], [5].

Цель работы: определить толщину комплекса «интима-медиа» (ТКИМ) сосудистой стенки у мужчин с различным темпераментом, высокой (ВТ) и низкой (НТ) тревожностью, страдающих АГ-II, в процессе проведения 18-месячной антигипертензивной терапии (АГТ).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В период с 1999 по 2012 год в условиях поликлиники обследовано 413 мужчин в возрасте 44–62 лет (в среднем $54,2 \pm 1,8$ года), страдающих гипертонической болезнью II стадии, 2-й степени, риск 3. Наличие ГБ-II устанавливали по критериям, изложенным в [8]. У 96 % обследованных ишемическая болезнь сердца отсутствовала. Средняя продолжительность АГ $11,6 \pm 1,4$ года. Контролем служили 415 здоровых мужчин, совместимых по основным антропосоциальным показателям. Всем обследуемым проводилось исследование ТКИМ, диаметра (Д) и линейной скорости кровотока (ЛСК) общей сонной (ОСА) и плечевой артерий (ПА) на аппарате Siemens Sonoline G 50 с линейным ультразвуковым датчиком 7,5 МГц для соответствующего сосудистого исследования с возможностью Triplex-сканирования. При определении ТКИМ использовалось сканирование ОСА в продольном сечении в дистальной трети. Измерения проводили по задней стенке ОСА на расстоянии 1,5–2 см ниже области бифуркации. ПА – артерия, которая мало подвержена атеросклеротическому поражению, в отличие от сонной, и больше мышечного, чем эластического типа, что позволяет определить эффективность ремоделирования сосуда на фоне той или иной схемы АГТ. Поскольку специфика ремоделирования ТКИМ была практически одинаковой, то в рамках статьи ограничили данными ПА ведущей (в 98 % правой) руки. Исследование осуществляли в продольном сечении ПА на 2–15 см выше локтевого сгиба. ТКИМ ПА измеряли путем установки ультразвукового курсора на границу раздела «адвентиция-медиа» – «интима – просвет сосуда» и рассчитывали как среднюю по трем сердечным циклам, синхронно с зубцом R ЭКГ (В-режим). Оценивали ТКИМ (мм), Д (мм) и ЛСК (мс^{-1}). Активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы определяли по исходному

вегетативному тону, а также вегетативному индексу Керде (ВИК) по А. Вейну [3]. В отличие от кортизола, с повышением содержания альдостерона в крови тесно связано увеличение ТКИМ [3], [5]. В литературе не найдено данных о том, у какой типологии людей (например, по темпераменту) это в большей степени выражено. Поэтому в сыворотке крови определяли содержание кортизола и альдостерона радиоиммунным способом с использованием наборов реактивов СЕА-IRE-SORIN (Франция, Италия). Превалирующий темперамент – холерический (Х), сангвинический (С), флегматический (Ф) и меланхолический (М) – определяли с помощью тестов Дж. Айзенка и А. Белова [10]. Темперамент определяли не менее 4 раз до лечения и 1 раз в 3 месяца в течение 18 месяцев АГТ. Прямой аналогии с типом личности «А», «Б» или «Д» (дистрессорный) [9], [11] не найдено. Величину реактивной и личностной тревожности определяли по методу Ч. Спилбергера в модификации Ю. Ханина [14] с той же частотой, что и темперамент. Уровень НТ не превысил $29,6 \pm 1,5$ балла, а ВТ $48,6 \pm 1,5$ балла. Уровень депрессивности определяли с использованием психологических шкал-тестов [1]. Состояние легкой депрессии неврогенного (ситуативного) генеза ($55 \pm 0,5$ балла) отмечено у ВТ/Ф и ВТ/М. Только им назначали антидепрессант (Ад) – в 96 % случаев коаксил (тианептин) по 12,5 мг утром и на ночь. ВТ/Х- и ВТ/С-пациентам психоневрологи назначали анксиолитики (Ах), преимущественно сибазон (диазепам) по 2,5 мг утром и на ночь. НТ-лицам и водителям Ах или Ад не показаны [12]. Ах и Ад ВТ-пациенты принимали 10–12 дней с перерывом в 3–4 дня. К особенностям психосоматического статуса у ВТ (НТ) Х и ВТ (НТ) С отнесли активность SNS-, а у ВТ (НТ) Ф и ВТ (НТ) М – PSNS-отдела ВНС. Кроме того, содержание альдостерона у ВТ (НТ) Ф и ВТ (НТ) М оказалось выше, а кортизола ниже, чем у ВТ (НТ) Х и ВТ (НТ) С соответственно. Различия расценили как превалирование активности РААС над активностью гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы у Ф и М, и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы над РААС у Х и С. Это и определило акцент изучения эффективности вариантов АГТ. В настоящей статье представлена только эффективность эмпирической АГТ, при которой не блокировали активность SNS у Х и С и активности РААС (альдостерон) на фоне превалирования PSNS у Ф- и М-пациентов.

АГТ проводилась с использованием 6 групп препаратов, согласно Приказу Минздравсоцразвития РФ от 22.11.2004 № 254 «Об утверждении стандарта медицинской помощи больным артериальной гипертонией». Из препаратов группы β -адреноблокаторов пациенты получали атенолол, лабеталол, окспренолол и другие, но в 96 % случаев назначался метопролол, который ВТ-пациенты принимали по 200 мг/сут., а НТ – по

100 мг/сут., поскольку в дозе 200 мг/сут. был нежелательный гипотензивный эффект [12]. Если пациентам прописывался ингибитор ангиотензинпревращающего фермента, то это были каптоприл или лизиноприл, или квинаприл и др., но в 96 % случаев – эналаприл. ВТ-пациенты принимали эналаприл по 20 мг/сут., а НТ/Ф и НТ/М – по 10 мг/сут. В качестве диуретика пациентам назначали гипотиазид, индапамид, верошпирон, но в 96 % случаев гипотиазид, который ВТ-пациенты принимали по 25 мг/сут., а НТ-пациенты – по 12,5 мг/сут. Все больные принимали панангин по 1–2 табл. 2 раза/сут. и аспирин по 0,25 г утром после еды (или кардиомагнил по 1 табл./сут.). Выбор препаратов обусловлен наличием в аптечной сети и экономической доступностью для пациентов. Об эффективности АГТ судили по снижению ТКИМ и числу лиц, перенесших острый инфаркт миокарда или острое транзиторное нарушение мозгового кровообращения. Учитывался только первичный случай. Все исследования, в том числе забор крови, осуществляли утром с 8.00 до 10.00 натощак. Значения показателей учитывали через 3, 6, 9, 12 и 18 месяцев АГТ. В работе представлены данные через 6, 12 и 18 месяцев АГТ. Полученные результаты обрабатывали методами вариационной статистики с использованием прикладных программ «StafStat» США и параметрического *t*-критерия Стьюдента. Достоверными считали различия при $p < 0,05$. Результаты в таблицах представлены как $M \pm m$, где M – среднестатистическое значение, m – стандартная ошибка от среднего. Методики не вышли за рамки Хельсинкской декларации лечения и обследования людей, одобрены Комитетом по этике Новосибирского государственного медицинского университета от 20.11.2009, протокол № 18.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование показало, что перед проведением АГТ значение исходного вегетативного тонуса по SNS-отделу ВНС в группе ВТ/Х составило $75,8 \pm 0,8$ %, ВИК $+9,1 \pm 0,1$ усл. ед.; в группе ВТ/С $68,8 \pm 0,4$ %, а ВИК $+3,2 \pm 0,1$ усл. ед. Напротив, в группах ВТ/Ф и ВТ/М значения исходного вегетативного тонуса лежали в плоскости влияний PSNS: $70,6 \pm 0,7$ % у первых и $71,2 \pm 0,5$ % у вторых. Значения ВИК составили: $-26,4 \pm 0,9$ усл. ед. у ВТ/Ф, $-38,4 \pm 0,7$ усл. ед. у ВТ/М. Полученные данные свидетельствовали о том, что АГ у ВТ/Х и ВТ/С развивалась на фоне преимущественно симпатических, а у ВТ/Ф и ВТ/М – парасимпатических влияний вегетативной нервной системы. В группах НТ/Х и С-пациентов значения исходного вегетативного тонуса по SNS-отделу ВНС составили $60,6 \pm 0,7$ % и $53,6 \pm 0,6$ %, а ВИК: $-6,3 \pm 0,5$ и $-15,3 \pm 0,6$ усл. ед. соответственно. Согласно методике по определению темперамента [10], это трактуется как состояние отде-

лов ВНС с несущественным превалированием функции SNS. В группах НТ/Ф и НТ/М значения исходного вегетативного тонуса по SNS-отделу составили $35,8 \pm 0,7$ % и $30,6 \pm 0,7$ %, а ВИК: $-25,4 \pm 0,6$ и $-34,8 \pm 0,6$ усл. ед. соответственно, что свидетельствовало о развитии АГ на фоне парасимпатических влияний. При проведении эмпирической АГТ существенных изменений со стороны активности отделов вегетативной нервной системы не обнаружено.

До начала лечения содержание кортизола в сыворотке крови достоверно снижалось в последовательном ряду: $X > C > \Phi > M$, а альдостерона также снижалось, но в обратном порядке: $M > \Phi > C > X$, как у ВТ, так и НТ-лиц ($p < 0,05$) (табл. 1). У ВТ-пациентов содержание альдостерона и кортизола было выше, чем у НТ-пациентов, а у здоровых ВТ (НТ) ниже, чем у ВТ (НТ)-больных соответствующего темперамента.

Оказалось, что ТКИМ и ЛСК у ВТ (НТ)/Х и ВТ (НТ)/С достоверно ниже, а диаметр плечевой артерии – выше, чем у ВТ (НТ)/Ф и ВТ (НТ)/М (табл. 2–4). У ВТ-пациентов ТКИМ и ЛСК были достоверно выше, а Д – ниже ($p < 0,05$), чем у НТ-лиц. Следовательно, до приема препаратов АГТ с более высоким содержанием альдостерона у ВТ/Ф и ВТ/М, по сравнению с ВТ/Х и ВТ/С, тесно связано более негативное изменение ТКИМ, диаметра и скорости кровотока в плечевой артерии.

Прием препаратов АГТ сочетался с достоверным ($p < 0,05$) снижением концентрации альдостерона у всех пациентов. Вместе с тем у Х и С содержание кортизола в процессе лечения достоверно снижалось, а у Ф и М хотя и несущественно, но достоверно повышалось (см. табл. 1). Кроме того, на фоне эмпирической антигипертензивной терапии с изменением содержания гормонов ТКИМ снижалась, а Д и ЛСК достоверно увеличивались у всех пациентов (см. табл. 2–4). Через 1,5 года лечения различия в значениях изучаемых показателей не выровнялись с таковыми у ВТ (НТ)-здоровых лиц соответствующего темперамента (см. табл. 1–4).

Исследование показало, что на фоне лечения смертельных случаев не отмечено. Однако через 18 месяцев АГТ доля лиц с осложнениями АГ у ВТ изменялась в следующем «темпераментальном» ряду: ВТ/Х – 28 человек (56,0 % из 50 человек), ВТ/С – 30 человек (57,0 % из 50 человек), ВТ/Ф – 43 человека (74,1 % из 61), ВТ/М – 40 человек (80,0 % из 50). У НТ/Х – 10 человек (20,0 % из 50), НТ/С – 11 человек (22,0 % из 50), НТ/Ф – 13 человек (26,0 % из 50), НТ/М – 11 человек (22,0 % из 50). В ВТ-группах доля лиц с осложнениями была достоверно выше, чем в НТ-группах соответствующего темперамента ($p < 0,05$). С другой стороны, в группе ВТ/Х и ВТ/С доля лиц с осложнениями была одинакова, но достоверно ниже ($p < 0,05$), чем в группах ВТ/Ф или ВТ/М.

Таблица 1

Содержание кортизола и альдостерона в крови у больных АГ-II до (0), через 6, 12 и 18 месяцев на фоне «эмпирической» АГТ за период исследования с 1999 по 2012 год ($p < 0,05$)

Ме- сяцы АГТ	Высокотревожные					Низкотревожные						
	0	6	12	18	Здоровые	0	6	12	18	Здоровые		
Кортизол, нмоль/л	X 50	637,4 ± 2,4	596,2 ± 3,4	581,3 ± 3,3	567,3 ± 3,3	508,8 ± 4,2 50	X 50	498,2 ± 2,8	459,4 ± 3,2	437 ± 3,0	417 ± 3,0	390,5 ± 4,0 50
	C 52	565,3 ± 3,0	515,6 ± 3,0	501,8 ± 3,6	482,8 ± 3,6	427,5 ± 3,6 51	C 50	444,6 ± 3,2	421,8 ± 2,8	411,2 ± 2,7	402,2 ± 2,7	362,5 ± 2,7 50
	Ф 61	340,6 ± 3,3	347,5 ± 2,8	358,8 ± 3,5	358,8 ± 3,5	386,6 ± 3,0 60	Ф 50	285,8 ± 3,0	289,8 ± 3,3	295,0 ± 3,8	300,0 ± 3,8	332,6 ± 2,6 54
	M 50	309,9 ± 3,0	328,4 ± 2,6	345,0 ± 3,0	345,0 ± 3,0	365,6 ± 2,3 50	M 50	279,6 ± 2,7	282,6 ± 3,4	291,6 ± 3,5	291,6 ± 3,5	312,6 ± 3,3 50
Альдостерон, пг/мл	X 50	115,6 ± 1,7	110,9 ± 1,1	103,0 ± 1,2	102,0 ± 1,2	90,9 ± 0,6 50	X 50	98,6 ± 1,2	98,8 ± 0,9	94,6 ± 0,9	91,2 ± 0,9	80,6 ± 1,1 50
	C 52	124,5 ± 1,5	119,5 ± 0,7	109,7 ± 1,3	109,7 ± 1,3	97,8 ± 0,7 51	C 50	108,3 ± 1,3	105,1 ± 1,3	102,8 ± 1,3	98,8 ± 1,3	89,0 ± 1,2 50
	Ф 61	154,6 ± 1,7	138,9 ± 1,2	130,9 ± 1,9	127,9 ± 1,9	109,8 ± 1,2 60	Ф 50	118,4 ± 1,3	113,0 ± 1,5	111,8 ± 1,2	107,8 ± 1,2	96,4 ± 1,3 54
	M 50	169,4 ± 1,7	146,7 ± 1,3	139,6 ± 1,4	134,6 ± 1,4	115,4 ± 1,3 50	M 50	127,9 ± 1,4	120,8 ± 1,3	116,9 ± 1,2	111,9 ± 1,2	100,2 ± 1,2 50

Примечания. Здесь и далее: 1. Пациенты – мужчины с различным темпераментом, высоким и низким уровнем тревожности. 2. В знаменателе указано количество исследований.

Таблица 2

Толщина комплекса «интима-медиа» (мм) плечевой артерии у больных АГ-II до (0), через 6, 12 и 18 месяцев лечения за период исследования с 1999 по 2012 год ($p < 0,05$)

Ме- сяцы АГТ	Высокотревожные					Низкотревожные					
	0	6	12	18	Здоровые	0	6	12	18	Здоровые	
X 50	0,704 ± 0,002	0,658 ± 0,003	0,604 ± 0,003	0,597 ± 0,003	0,513 ± 0,002 50	X 50	0,547 ± 0,002	0,524 ± 0,003	0,493 ± 0,003	0,483 ± 0,003	0,442 ± 0,004 50
C 52	0,787 ± 0,003	0,748 ± 0,004	0,688 ± 0,005	0,670 ± 0,005	0,594 ± 0,003 51	C 50	0,718 ± 0,003	0,690 ± 0,004	0,646 ± 0,002	0,626 ± 0,002	0,523 ± 0,003 50
Ф 61	0,898 ± 0,003	0,860 ± 0,004	0,796 ± 0,003	0,782 ± 0,003	0,705 ± 0,004 60	Ф 50	0,815 ± 0,003	0,780 ± 0,003	0,732 ± 0,005	0,712 ± 0,005	0,624 ± 0,006 54
M 50	0,977 ± 0,003	0,946 ± 0,003	0,878 ± 0,0027	0,860 ± 0,0027	0,786 ± 0,005 50	M 50	0,880 ± 0,003	0,862 ± 0,003	0,822 ± 0,003	0,782 ± 0,003	0,725 ± 0,003 50

Таблица 3

Диаметр (мм) плечевой артерии у больных АГ-II мужчин до (0), через 6, 12 и 18 месяцев лечения за период исследования с 1999 по 2012 год ($p < 0,05$)

Месяцы АГТ	Высокотревожные					Низкотревожные					
	0	6	12	18	Здоровые	0	6	12	18	Здоровые	
X	3,95 ± 0,07	3,986 ± 0,08	4,031 ± 0,06	4,051 ± 0,06	4,212 ± 0,07	X	4,321 ± 0,06	4,351 ± 0,05	4,428 ± 0,05	4,433 ± 0,05	4,516 ± 0,04
C	3,77 ± 0,06	3,780 ± 0,06	3,788 ± 0,05	3,808 ± 0,05	3,981 ± 0,06	C	4,134 ± 0,03	4,201 ± 0,04	4,212 ± 0,04	4,220 ± 0,04	4,315 ± 0,04
Ф	3,50 ± 0,08	3,552 ± 0,06	3,606 ± 0,06	3,621 ± 0,06	3,732 ± 0,04	Ф	3,853 ± 0,05	3,900 ± 0,003	3,948 ± 0,005	3,968 ± 0,005	4,056 ± 0,06
M	3,28 ± 0,08	3,308 ± 0,06	3,348 ± 0,07	3,370 ± 0,07	3,500 ± 0,05	M	3,684 ± 0,05	3,702 ± 0,03	3,742 ± 0,05	3,755 ± 0,06	3,868 ± 0,04

Таблица 4

Линейная скорость кровотока (см/с) в плечевой артерии у больных АГ-II до (0), через 6, 12 и 18 месяцев лечения за период исследования с 1999 по 2012 год ($p < 0,05$)

Месяцы АГТ	Высокотревожные					Низкотревожные					
	0	6	12	18	Здоровые	0	6	12	18	Здоровые	
X	0,683 ± 0,005	0,664 ± 0,005	0,619 ± 0,008	0,586 ± 0,008	0,426 ± 0,006	X	0,468 ± 0,006	0,448 ± 0,008	0,421 ± 0,003	0,406 ± 0,003	0,385 ± 0,010
C	0,782 ± 0,005	0,751 ± 0,004	0,658 ± 0,005	0,608 ± 0,005	0,536 ± 0,007	C	0,572 ± 0,009	0,542 ± 0,010	0,510 ± 0,007	0,491 ± 0,007	0,423 ± 0,007
Ф	0,870 ± 0,004	0,827 ± 0,004	0,764 ± 0,005	0,708 ± 0,005	0,632 ± 0,006	Ф	0,680 ± 0,005	0,649 ± 0,005	0,617 ± 0,006	0,556 ± 0,006	0,470 ± 0,006
M	1,102 ± 0,003	1,063 ± 0,003	0,902 ± 0,0027	0,839 ± 0,0027	0,739 ± 0,006	M	0,769 ± 0,005	0,729 ± 0,004	0,636 ± 0,005	0,568 ± 0,005	0,502 ± 0,006

ВЫВОДЫ

1. До и в ходе эмпирической антигипертензивной терапии содержание кортизола у лиц холерического и сангвинического темпераментов выше, а альдостерона ниже, чем у пациентов флегматиков и меланхоликов.

2. В отличие от холериков и сангвиников, превалирование активности клеток клубочковой зоны коры надпочечников (альдостерон) на фоне преимущественной активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы у флегматиков и меланхоликов сочеталось с более негативным изменением толщины комплекса «интима-медиа», диамет-

ра и линейной скорости кровотока плечевой артерии.

3. Несмотря на снижение толщины комплекса «интима-медиа» и линейной скорости кровотока, а также увеличение диаметра плечевой артерии в ходе 18-месячной эмпирической антигипертензивной терапии не достигнуто выравнивания с таковыми у здоровых лиц соответствующих темперамента и тревожности.

4. Доля лиц с осложнениями в группах высокотревожных холериков и сангвиников ниже, чем в группах флегматиков и меланхоликов, что характеризует их как группы высокого риска тяжелого течения артериальной гипертензии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ахметжанов Э. Р. Шкала депрессии. Психологические тесты. М.: Лист, 1996. 320 с.
- Вебер В. Р., Фишман Б. Б., Иванова Н. В., Копина М. Н., Жмайлова С. В., Фоменко Л. А., Куликов В. И., Шварцман Г. И. Особенности распространенности тревожно-депрессивного синдрома и поведенческих факторов риска у больных артериальной гипертензией // Российский медицинский журнал. 2006. № 6. С. 40–44.
- Вейн А. М., Вознесенская Т. Г., Голубев В. Л. Заболевания вегетативной нервной системы. М.: Медицина, 1991. 624 с.
- Гогин Е. Е. Диагностика и выбор лечения у больных артериальной гипертензией // Клиническая медицина. 2010. № 4. С. 10–17.
- Мухин Н. А., Фомин В. В. Ренин – мишень прямой фармакологической блокады при артериальной гипертензии // Терапевтический архив. 2009. № 8. С. 5–9.
- Ощепкова Е. В. Смертность населения от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации в 2001–2006 гг. и пути по ее снижению // Кардиология. 2009. № 2. С. 67–73.
- Погосова Г. В. Тревожные состояния у больных сердечно-сосудистыми заболеваниями: диагностические и терапевтические аспекты // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2006. № 5. С. 75–80.
- Профилактика, диагностика и лечение АГ. Российские рекомендации (3-й пересмотр) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2008. № 7. Прилож. 2. С. 5–16.
- Соколов Е. И., Лавренова Н. Ю., Голобородова И. В. Реакция симпатико-адреналовой системы у больных ишемической болезнью сердца при эмоциональном напряжении в зависимости от типа личности // Кардиология. 2009. № 12. С. 18–23.
- Столярченко Л. Д. Опросник Айзенка по определению темперамента. Основы психологии. Ростов н/Д: Феникс, 1997. 736 с.
- Сумин А. Н. Поведенческий тип «Д» (дистрессорный) при сердечно-сосудистых заболеваниях // Кардиология. 2010. № 10. С. 66–73.
- Усенко А. Г. Особенности психосоматического статуса у больных артериальной гипертензией, профилактика осложнений и оптимизация лечения: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Новосибирск, 2007. 29 с.
- Усенко Г. А., Усенко А. Г., Васендин Д. В., Шустер Г. С. Зависимость времени свертывания крови у больных гипертензивной болезнью от динамики солнечной активности // Медицинский вестник МВД. 2013. № 1. С. 16–20.
- Ханин Ю. Л. Исследование тревоги в спорте // Вопросы психологии. 1978. № 6. С. 94–106.
- Ueshima K. Magnesium and ischemic heart disease: a review of epidemiological, experimental and clinical evidences // Magnes. Res. 2005. Vol. 18. P. 275–284.

Usenko G. A., Novosibirsk State Medical University (Novosibirsk, Russian Federation)

Demin A. A., Novosibirsk State Medical University (Novosibirsk, Russian Federation)

Usenko A. G., Novosibirsk Regional Hospital of War Veterans № 2 (Novosibirsk, Russian Federation)

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

FEATURES OF VASCULAR WALLS' REMODELING IN PATIENTS SUFFERING FROM ARTERIAL HYPERTENSION AND CHARACTERIZED BY DIFFERENT TEMPERAMENTS AND ANXIETY LEVELS

The purpose of the study is to determine the thickness of "intima-media" complex of the brachial artery in men of different temperament, high and low anxiety, suffering from arterial hypertension of the II stage, 2d degree, risk 3. We tried to assess the possibility of the "empirical" 18-month antihypertensive therapy to bring the values of the "intima-media" complex to the values characteristic of healthy individuals of appropriate temperament. Ambulatory subjects were males (n = 413, the average age 54.2 ± 1,8) suffering from arterial hypertension-II. A control group consisted of 415 healthy men. The following aspects were studied: the thickness of "intima-media" complex; the diameter and the linear speed of the blood flow in the brachial artery in high- and low anxiety choleric, sanguine, phlegmatic and melancholic patients; the activity of the sympathetic and parasympathetic autonomic nervous systems; the content of cortisol and aldosterone as hormones affecting the growth and proliferation of cells and tissues. Antihypertensive therapy consisted of angiotensin-converting enzyme inhibitors or β-adrenergic blockers and diuretics without purposeful adema prevailing activity of the sympathetic nervous system or activity of the rennin-angiotensin-aldosterone system of the patient. This therapy is called "experimental". Depression, mild degree of high anxiety in phlegmatic and melancholic patients was controlled by antidepressant, and high anxiety in choleric and sanguine patients was controlled by anxiolytic. In high- and low anxiety choleric and sanguine patients activity of sympathetic division of the autonomic nervous system prevailed, and in phlegmatic and melancholic patients parasympathetic division of the autonomic nervous system was more active. The content of aldosterone, the thickness of "intima-media" complex, and linear blood flow velocity increased. The content of cortisol and the brachial artery diameter decreased in patients in the following order: choleric – sanguine – phlegmatic – melancholic. Values of indicators in high anxiety patients were less positive than in low anxiety patients and worse than those in healthy individuals of appropriate temperament. No significant results in the achievement of the targeted values during the 18-month empirical antihypertensive therapy were noted. In the groups of high anxiety phlegmatic and melancholic patients the share of persons with complications was 1,5 times higher than in the groups high anxiety choleric and sanguine patients. Phlegmatic and melancholic patients of high anxiety belong to the risk group of severe hypertension.

Key words: arterial hypertension, temperament, anxiety, effect of treatment

REFERENCES

- Ahmetzhanov E. R. *Shkala depressii. Psikhologicheskie testy* [Depression Scale. Psychological tests]. Moscow, List Publ., 1996. 320 p.
- Weber W. R., Fishman B. B., Ivanova N. V., Kopina M. N., Zhmaylova S. V., Fomenko L. A., Kulikov V. I., Shvartsmann G. I. Features of anxiety-depressive syndrome prevalence and behavioral risk factors in patients with arterial hypertension [Osobennosti rasprostranennosti trevozhno-depressivnogo sindroma i povedencheskikh faktorov riska u bol'nykh arterial'noy gipertenziiy]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian Journal of Medicine]. 2006. № 6. P. 40–44.
- Weyn A. M., Voznesenskaya T. G., Golubev V. L. *Zabolevaniya vegetativnoy nervnoy sistemy* [Disorders of the autonomic nervous system]. Moscow, Meditsina Publ., 1991. 634 p.
- Gogin E. E. Diagnosis and choice of treatment in patients with arterial hypertension [Diagnostika i izbor lecheniya u bol'nykh arterial'noy gipertoniiy]. *Klinicheskaya meditsina* [Clinical medicine]. 2010. № 4. P. 10–17.
- Mukhin N. A., Fomin V. V. Renin – a target of direct pharmacological blockade arterial hypertension [Renin – mishaen' pryamo farmakologicheskoy blokady pri arterial'noy gipertonii]. *Terapevticheskiy arkhiv* [Therapeutic archives]. 2009. № 8. P. 5–9.
- Oshchepkova E. V. Mortality from cardiovascular diseases in the Russian Federation in 2001–2006 years and ways to reduce it [Smertnost' naseleniya ot serdechno-sosudistykh zabolevaniy v Rossiyskoy Federatsii v 2001–2006 gg. i puti po ee snizheniyu]. *Kardiologiya* [Cardiology]. 2009. № 2. P. 67–73.
- Pogosova G. V. Anxiety in patients with cardiovascular disease: diagnostic and therapeutic aspects [Trevozhnye sostoyaniya u bol'nykh serdechno-sosudistykh zabolevaniyami: diagnosticheskie i terapevticheskie aspekty]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular therapy and prevention]. 2006. № 8. P. 5–9.
- Prevention, diagnosis and treatment of hypertension. Russian recommendation (3rd revision) [Profilaktika, diagnostika i lechenie AG. Rossiyskie rekomendatsii (3-y peresmotr)]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular therapy and prevention]. 2008. № 7. App. 2. P. 67–73.
- Sokolov E. I., Lavrenova N. Yu., Goloborodova I. V. The reaction of sympathetic-adrenal system in patients with coronary heart disease under emotional stress, depending on the type of personality [Reaktsiya simpatiko-adrenalovoy sistemy u bol'nykh ishemicheskoy boleznyu serdtsa pri emotsional'nom napryazhenii v zavisimosti ot tipa lichnosti]. *Kardiologiya* [Cardiology]. 2009. № 12. P. 18–23.
- Stolyarenko L. D. *Oprosnik Ayzenka po opredeleniyu temperamenta. Osnovy psikhologii* [Eysenck questionnaire to determine the temperament. Principles of Psychology]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 1997. 736 p.
- Sumin A. N. Behavioral type "D" (distressory) in cardiovascular diseases [Povedencheskiy tip "D" (distressorny) pri serdechno-sosudistykh zabolevaniyakh]. *Kardiologiya* [Cardiology]. 2010. № 10. P. 66–73.
- Usenko A. G. *Osobennosti psichosomaticheskogo statusa u bol'nykh arterial'noy gipertenziiy, profilaktika oslozhneniy i optimizatsiya lecheniya: Avtoref. diss. ... kand. med. nauk* [Features of psychosomatic patients with arterial hypertension, prevention of complications and treatment optimization. Cand. med. sci. diss.]. Novosibirsk, 2007. 29 p.
- Usenko G. A., Usenko A. G., Vasendin D. V., Shuster G. S. Coagulation time dependence in on solar activity in patients with hypertension [Zavisimost' vremeni svertyvaniya krovi u bol'nykh gipertonicheskoy boleznyu ot dinamiki solnechnoy aktivnosti]. *Meditsinskiy vestnik MVD* [MIA Medical Bulletin]. 2013. № 1. P. 16–20.
- Khanin Yu. L. The study of anxiety in sports [Issledovanie trevogi v sporte]. *Voprosy psikhologii* [Questions of psychology]. 1978. № 6. P. 94–106.
- Ushima K. Magnesium and ischemic heart disease: a review of epidemiological, experimental and clinical evidens // *Magnes. Res.* 2005. Vol. 18. P. 275–284.

Поступила в редакцию 13.11.2013

НАТАЛИЯ ГЛЕБОВНА ФЕДОРЕЦ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, землеустройства и кадастров агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
fedorets@krc.karelia.ru

ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА БАХМЕТ

кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории лесного почвоведения, Институт леса Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
obahmet@mail.ru

ЮЛИЯ НИКОЛАЕВНА ТКАЧЕНКО

ведущий почвовед лаборатории лесного почвоведения, Институт леса Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
tkachenko.76@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА АВТОМОРФНЫХ ПОЧВ СЕВЕРО- И СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОН КАРЕЛИИ

Рассматриваются особенности гранулометрического состава автоморфных почв северо- и среднетаежной подзон Карелии. На большом экспериментальном материале показано содержание фракций песка, пыли, ила и физической глины в генетических горизонтах лесных почв сосновых и еловых лесов. Выявлены особенности распределения в усредненном профиле автоморфных почв совокупности частиц различного размера. На основании статистической обработки данных с использованием критерия Стьюдента выявлена достоверность различий в содержании различных гранулометрических фракций в почвенных горизонтах в зональном аспекте.

Ключевые слова: почва, горизонт, гранулометрический состав, физическая глина, песок, пыль, ил, материнская порода, критерий Стьюдента

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время при большом интересе к проблеме сохранения почв как незаменимого компонента биосферы разработка представлений о почвообразовательных процессах особенно актуальна. Более того, новые подходы к оценке почвообразовательных процессов отдельных регионов недостаточно разработаны и не вполне отвечают современным требованиям, подразумевающим оперативное получение и предоставление объективной экологической информации пользователю. Четыре основные задачи почвоведения в XXI веке должны акцентировать внимание на изучении почв в пространстве и времени, почвенных свойств и процессов, оптимальных методов использования почв, природоохранных аспектах почвоведения на местном, региональном и глобальном уровнях [1]. Установление особенностей современных процессов почвообразования и формирования почвенного плодородия в северо- и среднетаежных подзонах Карелии, оценка экологического состояния лесных почв фоновых и урбанизированных территорий необходимы для разработки мероприятий по рациональному использованию и охране почвенных ресурсов.

Коллектив лаборатории лесного почвоведения Института леса КарНЦ РАН на протяжении многих лет проводит экспериментальные исследова-

ния почвообразования на Северо-Западе России, исследованы особенности строения почвенного покрова данной территории, собран большой материал по составу, статическим и динамическим свойствам почв.

Установление закономерностей почвообразования и выветривания на различных почвообразующих породах продолжает оставаться одной из точек роста современного генетико-географического почвоведения и представляет интерес для понимания глобальных закономерностей распространения процессов, идущих в педосфере, а также биологических и биогеохимических процессов, в том числе имеющих прикладное значение [3].

Почвообразующие породы в процессе почвообразования претерпевают существенные изменения: происходит трансформация минеральных частиц, накапливается органическое вещество (гумус). Минералогический и химический состав почвообразующих пород определяет особенности почвообразования: скорость и интенсивность трансформации минеральной массы, вынос или накопление подвижных форм химических элементов, взаимодействие их с органическими кислотами и формирование почвенного профиля, обладающего определенным уровнем плодородия. Решающую роль на первичном этапе поч-

вообразования в трансформации минеральной массы играют гидротермические условия, под воздействием которых идет физическое разрушение и измельчение горных пород и рыхлых отложений.

Запасы элементов минерального питания в почвах зависят от соотношения интенсивности процессов их образования и скорости использования растениями. В свою очередь, интенсивность процессов их образования зависит от факторов почвообразования: состава материнской породы, расположения почвы в рельефе, от климатических особенностей и живых организмов. Воздействие климата на процессы почвообразования может быть прямым (количество осадков, температура) и опосредованным, то есть через воздействие на живые организмы.

В настоящее время исследованиям процесса массообмена между компонентами природной среды посвящено значительное число исследований как в нашей стране, так и за рубежом, что свидетельствует об их актуальности [2], [6], [8], [9], [10].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В соответствии с различием климатических условий А. А. Романов [7] на территории Карелии выделяет следующие климатические зоны: северную, среднюю, южную и юго-западную. Однако особенности почвообразования обусловлены не только биоклиматическими, но и геоморфологическими условиями. Для Карелии в целом характерно широкое распространение грубых песчаных и супесчаных отложений и грубых скелетных пород, слабо затронутых процессами химического выветривания. Состав минералов, входящих в почвообразующие породы, довольно разнообразен.

По сочетанию природных условий и характеру почвообразования на территории Карелии А. И. Марченко [4] выделил две почвенные зоны: а) северную (северная и средняя климатические) и б) южную (южная и юго-западная). Граница между ними проходит около 63° с. ш. и в целом соответствует современной условной границе между северной и среднетаежной подзонами.

Северная почвенная зона отличается неблагоприятными климатическими условиями, а также значительной пестротой форм рельефа, грубым и сравнительно однообразным гранулометрическим составом почвообразующих пород. Для этой территории республики характерны частые выходы на дневную поверхность кристаллических пород, достигающих в отдельных случаях 600 м над уровнем моря. Малая мощность толщи покрывающих их рыхлых отложений обуславливает малую мощность почвенного профиля. Наряду с песчаными подзолами, составляющими основной фон, значительны площади гидроморфных

почв. Средняя глубина промерзания песчаных и супесчаных почв 50–70, суглинистых 45–60 см. Почва продолжительное время находится в мерзлом состоянии. Оттаивание почвы происходит медленно и продолжается до июня. Частые зимние оттепели, замерзание и оттаивание почв, а также суточные перепады температур способствуют физическому выветриванию, особенно в поверхностных горизонтах. Низкие температуры тормозят химическое выветривание и приводят к замедленному разложению растительного опада. В связи с этим здесь формируются почвы с укороченным профилем и мощной лесной подстилкой, продуцирующей большое количество кислых органических веществ, которые способствуют формированию мощных подзолистого и иллювиально-гумусового горизонтов. Здесь же происходит медленный распад растительных остатков и быстрое промывание продуктов распада органического вещества, которые оседают в нижележащих горизонтах. Кроме общих зональных закономерностей в структуре почвенного покрова четко прослеживается влияние рельефа территории. На вершинах песчаных холмов и гряд преобладают подзолы иллювиально-железистые песчаные, а на склонах песчаные подзолы с иллювиально-гумусово-железистым иллювиальным горизонтом. На хорошо дренированных песчаных равнинах распространены песчаные поверхностно-подзолистые почвы. Понижения рельефа заняты болотами и полугидроморфными и гидроморфными почвами. В северотаежной подзоне на древнеморских или озерных террасах, сложенных глинами, распространены глееподзолистые почвы.

Резкой смены строения почвенного покрова при переходе к среднетаежной подзоне на территории Карелии не происходит, однако почвенный покров становится более сложным. Это объясняется широким распространением возвышенностей и плоских озерно-ледниковых равнин, а также сменой почвообразующих пород, хотя в основном также преобладают водно-ледниковые отложения. В почвенном покрове среднетаежной подзоны подзолистые почвы занимают 2/3 территории. Среди подзолистых почв наиболее распространены подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусово-железистые. Для южной части среднетаежной подзоны характерно широкое распространение грубогумусных буроземов, формирование которых связано с богатством некоторых почвообразующих пород соединениями железа, кальция и магния. Для Карелии буроземы являются азональными почвами. В среднетаежной подзоне (южная и юго-западная климатические зоны) в связи с лучшими климатическими условиями и большей испаряемостью автоморфные почвы занимают значительно большие площади, чем в северной тайге, а болотно-подзолистые и болотные – поч-

ти в 2 раза меньше площади. Песчаные подзолы в среднетаежной подзоне Карелии относятся к группе почв с длительным сезонным промерзанием. Среднегодовая температура на глубине 0,2 м равна +5,7 °С. Максимальное промерзание не превышает глубины 1 м, минимальная температура –4 °С. Почва в мерзлом состоянии находится 4–5 месяцев. Изменение температуры от 0 до +10 °С на глубине 0,2 м происходит в течение 1–1,5 месяца, с конца апреля до середины июня, а на глубине 1 м – 3–4 месяца, с мая по август. Глубина прогревания почвы до +10 °С составляет 1 м [5].

Несмотря на значительную информацию о почвах и почвенном покрове северотаежной и среднетаежной подзон Карелии, целесообразным является проведение глубокого анализа особенностей почвообразования на основе проведенных оригинальных исследований.

Цель исследований – провести сравнительный анализ гранулометрического состава автоморфных почв близкой таксономической принадлежности северо- и среднетаежной подзон Карелии.

Для сравнения гранулометрического состава автоморфных почв северо- и среднетаежной подзон данные были получены при выполнении проекта «ICP Forests» (2010–2012 годы) на 100 пробных площадях, охватывающих всю территорию Карелии. В северотаежной подзоне было заложено 42, а на территории среднетаежной – 37 почвенных разрезов. Описанные почвы – подзолы иллювиально-железистые, иллювиально-гумусово-железистые и иллювиально-железисто-гумусовые, подбуры, а в среднетаежной подзоне и буроземы, оподзоленные под сосновыми и еловыми лесами.

Определение гранулометрического состава почвы проводили при помощи универсального лазерного дифракционного анализатора размера частиц SALD-201V фирмы SHIMADZU (Япония). Полученные количественные показатели сопоставлены и статистически обработаны при помощи статистических программ Microsoft Excel 2003, Statistica 6. Проведены расчеты среднеарифметических значений содержания гранулометрических фракций, пределов их колебания, стандартного отклонения, коэффициентов вариации. С помощью критерия Стьюдента определена существенность различий между определенными параметрами почв в северо- и среднетаежной подзонах Карелии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что отдельные гранулометрические фракции почвы отличаются по минералогическому и химическому составу. От гранулометрического состава, как известно, зависят физические, физико-химические и химические свойства почв. Содержание в почвах железа, кальция, магния,

калия, натрия и других элементов питания, которые входят только в минеральную часть почвы, а в некоторой степени и фосфора, находящегося как в минеральной, так и органической частях почвы, определяется, главным образом, ее гранулометрическим составом. Преобладание песчаной фракции, состоящей в основном из кварца, и низкое количество илистой фракции изначально свидетельствуют о низком содержании питательных элементов.

Общая закономерность, отражающая изменение содержания большинства химических элементов в почвах в зависимости от дисперсности гранулометрических фракций, заключается в том, что, кроме большего содержания питательных элементов, мелкодисперсные фракции обуславливают адсорбционные процессы в почве и ее поглотительную способность.

Сопряженное изучение гранулометрического состава генетических горизонтов почв северо- и среднетаежной подзон Карелии позволило выявить как различия, так и общие черты важнейшего почвенного показателя в географическом аспекте.

Определение гранулометрического состава в подподстилочных горизонтах А2 (А1А2, А2В, А1В) автоморфных почв сосновых и еловых лесов северо- и среднетаежной подзон Карелии показало, что среднее арифметическое содержание песка, пыли, ила и физической глины в подзолном горизонте почв северотаежной подзоны составляло соответственно: 83,2; 12,4; 0,60; 3,7 %, а в среднетаежной: 83,6; 13,3; 0,56; 4,8 % (табл. 1). Однако различия полученных данных оказались статистически недостоверными (табл. 2).

Результаты статистического анализа накопления различных гранулометрических фракций в иллювиальном горизонте В (Bf, Vfh, Bhf) свидетельствуют, что средние арифметические показатели содержания песка и ила составляют соответственно для северотаежной подзоны: 88,6 и 0,51 %, для среднетаежной – 83,9 и 0,60 %. Однако различия в показателях северной и средней тайги оказались незначимыми. Среднее содержание пыли в почвах нормального увлажнения северотаежной подзоны составляет 11,5 %; физической глины – 2,1 %. В среднетаежной эти показатели выше – пыли 15,5 %; физической глины – 4,5 % (см. табл. 1). Проведенный анализ с использованием критерия Стьюдента показал, что при уровне значимости 95 % статистически достоверны различия в содержании фракции пыли и физической глины в почвенном горизонте В северо- и среднетаежной подзон (табл. 3).

Результаты статистического анализа количественных показателей гранулометрических фракций в материнской породе С (BC) свидетельствуют, что среднее арифметическое содержание песка, пыли, ила и физической глины в горизонте С (BC) почв в сосновых и еловых лесах среднетаежной

Таблица 1

Статистические показатели содержания гранулометрических фракций в горизонтах почв сосновых и еловых лесов северо- и среднетаежной подзон Карелии

Показатель	Горизонт почвы	Крупный и средний песок	Мелкий песок	Пыль	Ил	Физическая глина
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,001	<0,001	>0,01
%						
Северотаежная подзона, n = 42						
Среднее арифметическое	A2*	38,4 ± 13,9	44,8 ± 9,9	12,4 ± 5,5	0,60 ± 0,18	3,7 ± 1,85
	B**	39,4 ± 16,7	49,2 ± 14,1	11,6 ± 6,4	0,51 ± 0,17	2,1 ± 1,2
	C	34,2 ± 21,2	43,8 ± 17,4	20,5 ± 12,6	0,70 ± 0,31	5,5 ± 3,6
Коэффициент вариации	A2*	0,36	0,22	0,44	0,30	0,51
	B**	0,43	0,29	0,55	0,33	0,57
	C	0,62	0,40	0,61	0,45	0,66
Среднетаежная подзона, n = 37						
Среднее арифметическое	A2*	34,9 ± 15,8	48,7 ± 13,7	13,3 ± 14,8	0,56 ± 0,26	4,8 ± 4,5
	B**	37,9 ± 20,2	45,9 ± 16,1	15,5 ± 9,4	0,60 ± 0,26	4,5 ± 4,0
	C	38,3 ± 24,7	43,6 ± 17,7	17,7 ± 13,4	0,67 ± 0,40	5,9 ± 6,3
Коэффициент вариации	A2*	0,45	0,28	1,11	0,47	0,94
	B**	0,53	0,35	0,61	0,44	0,90
	C	0,65	0,41	0,76	0,60	1,06

Примечание. * – 10 см слой подподстилочного горизонта (A2, A1A2, A2B, A1B). ** – Bf, Bfh, Bhf.

Таблица 2

Оценка достоверности различий содержания гранулометрических фракций в подподстилочном горизонте автоморфных почв сосновых и еловых лесов северо- и среднетаежной подзон Карелии, %

Показатель	Крупный и средний песок	Мелкий песок	Пыль	Ил	Физическая глина
	1–0,25 мм	0,25–0,05 мм	0,05–0,001 мм	<0,001 мм	>0,01 мм
Стандартная средняя ошибка средних арифметических, <i>m</i>	3,30	2,63	2,41	0,05	0,76
Средняя ошибка разности, <i>t</i>	1,11	1,38	0,94	0,00	1,41
Число степеней свободы, <i>f</i>	79	79	79	78	79
t-критерий (Стьюдента) табл. для (P≤0,01)	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
t-критерий (Стьюдента) табл. для (P≤0,05)	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
Значимость различий	незначимы				

Таблица 3

Оценка достоверности различий содержания гранулометрических фракций в горизонте В автоморфных почв сосновых и еловых лесов северо- и среднетаежной подзон Карелии, %

Показатель	Крупный и средний песок	Мелкий песок	Пыль	Ил	Физическая глина
	1–0,25 мм	0,25–0,05 мм	0,05–0,001 мм	<0,001 мм	>0,01 мм
Стандартная средняя ошибка средних арифметических, <i>m</i>	4,12	3,04	1,79	0,05	0,66
Средняя ошибка разности, <i>t</i>	0,21	0,80	2,03	1,67	2,74
Число степеней свободы, <i>f</i>	77	77	77	77	77
t-критерий (Стьюдента) табл. для (P≤0,05)	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
Значимость различий	незначимы		значимы, при уровне ошибки не более 5 %	незначимы	значимы, при уровне ошибки не более 5 %

и северотаежной подзон близки между собой и составляют соответственно: в северной тайге – 77,4; 20,5; 0,7; 5,5 %, в среднетаежной подзоне – 81,9; 17,7; 0,67; 5,9 % (см. табл. 1). В связи с вышесказанным различия в содержании гранулометрических фракций оказались незначимыми (табл. 4).

Проведенные исследования гранулометрического состава автоморфных почв северо- и среднетаежной подзон показали, что исследованные подзолы близки по содержанию песчаной фракции, однако характер ее распределения по профилю различается. В северотаежной подзо-

Таблица 4

Оценка достоверности различий содержания гранулометрических фракций в горизонте С автоморфных почв сосновых лесов северо- и среднетаежной подзон Карелии, %

Показатель	Крупный и средний песок	Мелкий песок	Пыль	Ил	Физическая глина
	1–0,25 мм	0,25–0,05 мм	0,05–0,001 мм	<0,001 мм	>0,01 мм
Стандартная средняя ошибка средних арифметических, <i>m</i>	5,16	3,96	2,88	0,08	1,15
Средняя ошибка разности, <i>t</i>	0,86	0,04	0,99	0,43	0,32
Число степеней свободы, <i>f</i>	77	77	77	77	77
t-критерий (Стьюдента) табл. для ($P \leq 0,01$)	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
t-критерий (Стьюдента) табл. для ($P \leq 0,05$)	1,99	1,99	1,99	1,99	1,99
Значимость различий	незначимы				

не количество песчаной фракции по профилю уменьшается с глубиной от 83,2 до 77,4 %, составляя максимум в иллювиальном горизонте (88,6 %). В среднетаежной подзоне количество песка плавно уменьшается вниз по профилю от 83,6 до 81,9 %.

Характер распределения по профилю почв северной тайги фракции пыли отличается от распределения фракции песка, количество ее увеличивается с глубиной от 12,4 до 20 % при минимуме в иллювиальном горизонте (11,5 %). В почвах среднетаежной подзоны содержание этой фракции плавно увеличивается с глубиной от 13,3 до 17,7 %.

Незначительные различия прослеживаются по содержанию илистой фракции, количество которой колеблется по профилю всех исследованных почв в северотаежной подзоне от 0,60 до 0,70 % при наименьших показателях (0,51 %) в иллювиальном горизонте. В аналогичных почвах в средней тайге эти величины составляют 0,56–0,67 % с постепенным снижением с глубиной.

Что касается суммарной фракции физической глины, то характер ее распределения по почвенным профилям в северной и средней тайге аналогичен распределению мелкодисперсных фракций, а именно – в северной тайге отмечается увеличение вниз по профилю от 3,7 до 5,5 % с минимумом в горизонте В, в то время как в почвах среднетаежной подзоны отмечено плавное увеличение содержания физической глины с глубиной от 4,8 до 5,9 %.

Таким образом, в почвах северотаежной подзоны выявлено более высокое содержание фрак-

ции песка в иллювиальном горизонте В и меньшее по сравнению с элювиальным горизонтом количество мелкодисперсных фракций. В почвах средней тайги происходит уменьшение содержания мелких фракций в элювиальных горизонтах и накопление их в иллювиальных. Данный характер распределения частиц свидетельствует о более ярком проявлении процессов подзолообразования в почвах на территории среднетаежной подзоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование гранулометрического состава подподстилочного горизонта (A2, A1A2, A2B, A1B) и материнской породы (горизонты BC и C) автоморфных почв сосновых и еловых лесов и статистическая обработка данных с использованием критерия Стьюдента показали, что при уровне значимости 95 % различия в содержании песка, пыли, ила и физической глины в указанных горизонтах почв северо- и среднетаежной подзон статистически недостоверны.

Статистически достоверны различия в содержании фракции пыли и физической глины в почвенном горизонте В северо- и среднетаежной подзон с преобладанием в почвах средней тайги.

На основании распределения гранулометрических фракций в профиле почв установлено, что процесс подзолообразования более отчетливо проявляется в условиях среднетаежной подзоны.

В целом можно отметить близкий гранулометрический состав автоморфных почв на территориях северо- и среднетаежной подзон Карелии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюм В. Почвы XXI века // Материалы III съезда Докучаевского общества почвоведов Российской академии наук. Суздаль, 2000. С. 15.
2. Зубкова Т. А., Карпачевский Л. О. Матричная организация почв. М.: Русаки, 2001. 295 с.
3. Лебедева И. И., Овечкин С. В., Королюк Т. В., Герасимова М. И. Почвенно-генетическое районирование: принципы, задачи, структура, приложение // Почвоведение. 2012 № 7. С. 715–727.
4. Марченко А. И. Почвы Карелии. М.; Л., 1962. 310 с.
5. Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.
6. Переверзев В. Н. Генетические особенности почв на отсортированных песчаных породах разного происхождения (Кольский полуостров) // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1052–1060.

7. Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск: Госиздат КАССР, 1961. 140 с.
8. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 274 с.
9. Bowen H. J. M. Environmental chemistry of the Elements. London; N. Y.: Acad. Press., 1979. 333 p.
10. Waring R. H., Schlesinger W. H. Forest ecosystems. Concept and management. N. Y.: Acad. Press., 1985.

Fedorets N. G., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Bakhmet O. N., Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)
Tkachenko Yu. N., Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

PARTICLE SIZE COMPOSITION FEATURES OF AUTOMORPHIC SOILS IN NORTH- AND MID-TAIGA SUBZONES OF KARELIA

Characteristic features of the particle size composition of automorphic soils in the north- and mid-taiga subzones of Karelia are considered. The content of sand, silt, and clay in the genetic horizon of forest soils in pine and spruce forests is reported based on the vast experimental material. Distribution patterns of the set of particles of varying size across the averaged automorphic soil profile were identified. The data were processed statistically with the use of Student's t-test. The zonal differences in the content of different grain size fractions in soil horizons were found to be reliable.

Key words: soil, horizon, particles' composition, physical clay, sand, silt, parent rock, Student's t-test

REFERENCES

1. Blyum V. Soils in XXI century [Pochvy XXI veka]. *Materialy III s'ezda Dokuchaevskogo obshchestva pochvedov Rossiyskoy akademii nauk* [Proc. III Congress of Soil Scientists]. Suzdal, 2001. P. 15.
2. Zubkova T. A., Karpachevskiy L. O. *Matrichnaya organizatsiya pochv* [Matrix organization of soil]. Moscow, Rusaki Publ., 2001. 295 p.
3. Lebedeva I. I., Ovechkin S. V., Korolyuk T. V., Gerasimova M. I. Soil-genetic zoning: principles, objectives, structure, application [Pochvenno-geneticheskoe rayonirovanie: printsipy, zadachi, struktura, prilozhenie]. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2012. № 7. P. 715–727.
4. Marchenko A. I. *Pochvy Karelii* [Soils of Karelia]. Moscow; Leningrad, 1962. 310 p.
5. Morozova R. M. *Lesnye pochvy Karelii* [Forest soils of Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1991. 184 p.
6. Pereverzev V. N. Genetic features of soils on the sorted sandy sediments of different origin (Kola peninsula) [Geneticheskie osobennosti pochv na otsortirovannykh peschanykh porodakh raznogo proiskhozhdeniya (Kolskiy poluostrov)]. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2009. № 9. P. 1052–1060.
7. Syso A. I. *Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoy Sibiri* [Patterns of chemical elements' distribution in the soil-forming rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2007. 274 p.
8. Romanov A. A. *O climate Karelii* [About climate of Karelia]. Petrozavodsk, Gosizdat KASSR Publ., 1961. 140 p.
9. Bowen H. J. M. Environmental chemistry of the Elements. London; N. Y.: Acad. Press., 1979. 333 p.
10. Waring R. H., Schlesinger W. H. Forest ecosystems. Concept and management. N. Y.: Acad. Press., 1985.

Поступила в редакцию 21.07.2014

НАТАЛЬЯ РУДОЛЬФОВНА СУНГУРОВА

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов лесотехнического института, Северный арктический федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация).

nsungurova@yandex.ru

РУДОЛЬФ ВАСИЛЬЕВИЧ СУНГУРОВ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, Северный НИИ лесного хозяйства (Архангельск, Российская Федерация).

sungurov51@yandex.ru

НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ ГАЕВСКИЙ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов лесотехнического института, Северный арктический федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация).

gaevsky.nikolay@yandex.ru

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО УЛУЧШЕНИЮ

Полевые исследования эффективности основных приемов повышения приживаемости и сохранности, улучшения роста и качества лесных культур проведены на вырубках с дренированными, переувлажненными и заболоченными почвами в Северо-таежном районе. На основе полученных данных видно, что различие между средними диаметрами посадки и посевов значительно, причем более интенсивный рост по диаметру, как и по высоте, наблюдается в посадках. Результаты исследований свидетельствуют о возможности унификации технологии создания лесных культур, то есть орудия обработки почвы, используемые на влажных и сырых почвах, с успехом могут применяться на вырубках с дренированными почвами. На основе данных, а также проведенных ранее исследований разработаны предложения по повышению эффективности искусственного лесовосстановления в условиях Северо-таежного района европейской части России.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна, ель, лесовосстановление, посев, посадка, продуктивность древостоев

По результатам анализа динамики закладки искусственных лесов в Архангельской области лесные культуры создают, главным образом, в трех группах типов леса – сосняки и ельники брусничные, черничные и долгомошные [6].

Полевые исследования эффективности основных приемов повышения приживаемости и сохранности, улучшения роста и качества лесных культур на вырубках с дренированными, переувлажненными и заболоченными почвами проводились в Северо-таежном районе (Архангельское, Холмогорское и Лешуконское лесничества). Для определения таксационных характеристик на участках заложены пробные площади, на которых исследование лесных культур проводилось по общепринятым методикам [3], [4].

Участок 1. Культуры ели созданы методом посева по минерализованным полосам после сплошной рубки насаждения. Среднее расстояние между рядами составляет 3,9 м. Возраст культур 40 лет. В напочвенном покрове преобладает черника. Встречаются также другие виды травянистой растительности, характерные для черничного типа леса. Ель имеет среднюю

высоту $1,2 \pm 0,04$ м, средний диаметр на высоте 0,1 м составляет 1,6 см. Около 75% растений имеют высоту 50–150 см. Встречаются отдельные деревья высотой 4,5 м. Количество деревьев ели составляет 9270 шт./га. Наблюдается перегущенность посевов. На одном погонном метре ряда культур встречается 9 особей ели. Изреживание посевов происходит слабо. Культуры находятся под пологом березового молодняка с небольшой примесью осины, который характеризуется следующими показателями: средняя высота 5,4 м, средний диаметр $4,3 \pm 0,2$ см, количество 7170 шт./га.

Участок 2. Культуры ели созданы методом посева по минерализованным полосам после сплошной рубки древостоя. Обработка почвы с одновременным посевом семян осуществлялась покровосдирателем ПДН-1. Среднее расстояние между рядами культур составляет 4,3 м. Возраст культур 36 лет, средняя высота $1,3 \pm 0,05$ м, средний диаметр 0,5 см, количество 9020 шт./га. На один погонный метр ряда культур приходится 4 растения. На данном участке формируется брусничный тип леса с преобладанием в первом

ярус березы и небольшого количества сосны. Березовый полог характеризуется следующими показателями: средняя высота 7,0 м, средний диаметр 5,4 см, количество 2870 шт./га. Сосна естественного происхождения имеет показатели высоты и диаметра соответственно 11,1 м и 9,0 см.

Участок 3. Культуры сосны созданы посадкой 2-летних сеянцев вручную по минерализованным полосам, подготовленным покровосдирателем ПДН-1. Среднее расстояние между рядами культур составляет 4,3 м. Возраст культур 34 года, средний диаметр $12,2 \pm 0,41$ см, средняя высота 13,1 м, густота 880 шт./га, сохранность 19,2%. На данном участке формируется брусничный тип леса с преобладанием в I ярусе культивируемой породы. Березовый полог характеризуется следующими показателями: средняя высота 7,0 м, средний диаметр 5,4 см, количество 2870 шт./га.

Участок 4. Культуры ели созданы методом посадки по минерализованным полосам после сплошной рубки древостоя. Обработка почвы осуществлялась якорным покровосдирателем ЯП-1. Расстояние между рядами культур составляет 4,5 м. Возраст культур 32 года, средняя высота 6,2 м, средний диаметр $4,9 \pm 0,17$ см, количество 1060 шт./га. Характерной особенностью культур ели на данном участке является то, что они практически не побивались заморозками в молодом возрасте по сравнению с другими объектами. На данном участке формируется черничный влажный тип леса с преобладанием в первом ярусе березы и небольшого количества сосны. Березовый полог характеризуется следующими показателями: средняя высота 6,5 м, средний диаметр 4,8 см, количество 7820 шт./га.

Участки 5, 6, 7. Культуры сосны созданы в черничном типе леса посадкой вручную 2-летних сеянцев по расчищенным и частично минерализованным полосам, подготовленным корчевальной машиной КМ-1 в 1987 и 1988 годах. Участки лесных культур сосны 5, 6 и 7, отнесенные по материалам лесоустройства 1994 года к удовлетворительным, в настоящее время являются погибшими. Причин их гибели две – уничтожение лосями и заглушение листовыми породами в результате несвоевременного проведения лесоводственных уходов.

Участок 14. Культуры ели созданы методом посева весной 1976 года на вырубке 1974 года в черничном типе леса. Обработка почвы производилась якорным покровосдирателем ЯП-1 в агрегате с трактором ТДТ-55. Ширина между полосами 4 м. Посев ручной, семена ели 2–3-го класса качества, шаг посева 0,7 м. Первоначальная густота составляла 3570 шт./га. В 1988 году было проведено осветление, в 2005 году – прочистки. Возраст культур 36 лет, средняя высота $1,3 \pm 0,4$ м, средний диаметр на высоте 1,3 м – 0,5 см. Посев не загущен, количество деревьев 3360 шт./га.

Участок 15. Культуры сосны созданы посадкой сеянцев сосны в 1993 году на вырубке 1991 года. При подготовке площади для расчистки полос применялся клин ТК-1.2 в агрегате с трактором ТДТ-55. Обработку почвы проводили плугом ПЛ-1 осенью 1992 года. Посадка ручная под меч Колесова. Для посадки использовали сеянцы сосны 2-летнего возраста из теплиц Луковецкого лесничества. Расстояние между рядами культур составляет 5 м, в ряду 0,5 м. Количество посадочных мест, по данным технической приемки, 3960 шт./га. Возраст культур 19 лет, сохранность составляет 33,1%, средний диаметр $8,5 \pm 0,17$ см, средняя высота 5,4 м.

Участок 16. Культуры ели созданы посевом семян в 1993 году на вырубке 1991 года. При подготовке площади для расчистки полос применялся клин ТК-1.2 в агрегате с трактором ТДТ-55. Обработку почвы проводили плугом ПЛ-1 осенью 1992 года. Расстояние между рядами культур 5 м, в ряду 0,5 м. Посев производился вручную по одному пласту семенами 1-го класса качества в третьей декаде мая. Количество посевных мест, по данным технической приемки, 4000 шт./га. Возраст культур 19 лет, сохранность составляет 62,2%, средняя высота $1,5 \pm 0,06$ м, средний диаметр на высоте 0,1 м – 2,4 см.

Участок 17. Культуры ели созданы посадкой сеянцев ели в 1994 году. При подготовке площади для расчистки полос применялся клин ТК-1,2 в агрегате с ТДТ-55. Обработку почвы проводили плугом ПЛ-1 осенью 1993 года. Расстояние между рядами 5 м, в ряду 0,5 м. Посадка ручная под меч Колесова по одному пласту. Количество посадочных мест, по данным технической приемки, 4000 шт./га. Для посадки использовали сеянцы ели 3-летнего возраста из теплиц Емецкого лесхоза. Возраст культур 18 лет, сохранность составляет 57,3%, средний диаметр $5,0 \pm 0,10$ см, средняя высота 4,2 м.

Участок 18. Культуры сосны созданы посевом семян в 1973 году на гари сосновых молодняков 1972 года. Тип леса – сосняк брусничный. Рельеф местности слегка всхолмленный с понижением на восток к пойме реки Вашка. Культуры заложены на площади 22 га. Обработка почвы проводилась путем нарезки борозд глубиной 15 см плугом ПКЛ-70 в агрегате с трактором ТДТ-40. Расстояние между срединами борозд 4 м. Посев и заделка семян производились вручную в лунки с шагом посева 0,4–0,5 м. Норма высева 1,2 кг/га. Густота культур 5500 посевных мест на 1 га. Для посева использованы семена местного сбора 2-го класса качества. Время посева – июнь 1973 года. Состав насаждения в данное время 9С1Б. Название почвы – подзол маломощный, супесчаный, свежий, развивающийся на супеси, подстилаемой средним суглинком. В напочвенном покрове встречаются иван-чай, вейник наземный, брусника, черника, вереск обыкновенный, ягель.

Участок 19. Культуры сосны созданы в аналогичных условиях посадкой 3-летних сеянцев сосны из Олемского питомника. Посадка сеянцев производилась по дну борозд плуга ПКЛ-70 в 1973 году вручную. Расстояние между рядами культур 4 м, шаг посадки 0,8 м, густота культур 3200 шт./га. Состав насаждения в данное время 5С5Б. В подлеске встречается можжевельник.

Участок 20. Культуры сосны созданы в аналогичных условиях посадкой 3-летних сеянцев сосны из Олемского питомника. Посадка производилась в площадки размером 30×30 см, подготовленные мотыгой на глубину 3 см, так как механизированная обработка почвы без предварительной расчистки площади была невозможна из-за сильной захламленности. Расстояние между рядами культур составляет 4 м, в ряду между центрами площадок 0,8 м. В каждую площадку высаживали по одному сеянцу. Густота культур 3000 шт./га. Состав насаждения в данное время 4С2Е 4Б. Также имеются единичные деревья ели и березы более старших возрастов, сохранившиеся после пожара 1972 года.

Участок 21. Культуры ели созданы посадкой вручную 2-летних сеянцев по расчищенным и частично минерализованным полосам, подготовленным корчевальной машиной КМ-1 в 1991 году. Возраст культур 20 лет. Расстояние между рядами культур в пределах площади перечета составляет 6,1 м. Шаг посадки 0,6 м. Сохранность культур 59,5 %, средняя высота 0,9 ± 2,73 см, средний диаметр на высоте 0,1 м – 1,5 см. На данном участке формируется черничный тип леса. Культуры находятся под пологом листового молодняка с небольшой долей ели естественного происхождения. Количество березы 9610, ели 890, осины 330 шт./га; средний диаметр березы 2,7 ± 0,19 см, высота 3,5 м; сред-

ний диаметр ели 2,6 ± 0,67 см; средний диаметр осины 1,3 ± 0,60 см.

Участок 22. Культуры сосны созданы в качестве опытно-производственной проверки технологических схем. При подготовке площади для расчистки полос использовалась машина КМ-1 в агрегате с трактором ТДТ-55. Обработка почвы путем формирования микроповышений осуществлялась плугом ПЛМ-1,3. Посадка 2-летних сеянцев сосны из теплиц производилась лесопосадочной машиной СЛГ-1. Использование лесопосадочной машины СЛГ-1 приводит к разрушению микроповышений. В настоящее время их наличие не заметно. Первоначальная густота культур составляла 2960 шт./га. Возраст культур 25 лет, сохранность 46,9 %, средний диаметр 11,5 ± 0,27 см, средняя высота 8,0 м, густота 1390 шт./га. На данном участке формируется брусничный тип леса с преобладанием в I ярусе культивируемой породы. Средняя высота березового полога 3,9 м, средний диаметр 2,6 ± 0,21 см, количество 8550 шт./га.

Участок 23. Культуры ели созданы аналогичным образом. Возраст культур 25 лет. Сохранность составляет 68,7 %. Ель имеет среднюю высоту 1,4 ± 0,5 м, средний диаметр на высоте 0,1 м – 2,8 см. Отдельные экземпляры имеют высоту более 3,5–4,0 м. Количество деревьев ели 2040 шт./га. Культуры находятся под пологом березового молодняка, который характеризуется следующими показателями: средняя высота 3,9 м, средний диаметр 2,6 ± 0,21 см, количество 8550 шт./га. На данном участке культуры ели сильно побивались морозом и были подвержены заболеванию шютте ели. В настоящее время под пологом березы побивания морозом не наблюдается.

По результатам обследования производственных лесных культур (табл. 1) установлено, что

Таблица 1

Характеристика производственных культур сосны и ели

№ участка	Культивируемая порода	Метод создания культур	Показатели роста культур			
			возраст, лет	высота, м	диаметр, см	количество, шт./га
16	ель	посев	19	1,5 ± 0,06	2,4*	2490
2			36	1,3 ± 0,05	0,5	9020
14			36	1,3 ± 0,04	0,5	7360
1			40	1,2 ± 0,04	1,6*	7170
17	ель	посадка	18	4,2	5,0 ± 0,10	2290
21			20	0,8 ± 0,03	1,5*	1630
23			25	1,4 ± 0,05	2,8*	2040
4			32	6,2	4,9 ± 0,17	1060
18	сосна	посев	39	9,0	8,0 ± 0,30	2194
15	сосна	посадка	19	5,3	8,5 ± 0,17	1310
22			25	8,0	11,5 ± 0,27	1390
3			34	13,1	12,2 ± 0,41	880
20			39	11,0	10,0 ± 0,35	1170
19			39	12,0	11,0 ± 0,32	1460

Примечание. * – диаметр на высоте 0,1 м.

посевы ели к 40 годам на вырубках с дренированными почвами формируют второй ярус под пологом лиственных пород, представленным главным образом березой, что подтверждают и работы других авторов [1], [2], [5]. При средней высоте культур 1,2 м в черничном типе леса и 1,3 м в брусничном они отстают от полога лиственных в 4–5 раз и относятся к V, а–V, б классам бонитета (табл. 2) [3]. Благодаря высокой сохранности культур их количество составляет 7–9 тыс. шт./га. В то же время господствующий полог, формируемый березой с небольшой примесью других пород, относится в черничном типе леса к V–V, а, в брусничном – к IV–V классам бонитета [7]. Проведение рубок ухода с целью регулирования высоты и густоты полога культур на таких участках нецелесообразно, так как не будут обеспечены их конкурентные преимущества перед березой. В результате хозяйственная деятельность в этих насаждениях должна вестись по лиственному хозяйству с последующим формированием хвойного полога.

В лесных культурах, созданных посевом на вырубках, сохраняется столько же или даже несколько больше мест со здоровыми растениями, но ель в среднем растет медленнее по сравнению с посадками. Вместе с тем в менее загущенных культурах максимальные растения в посевных местах к 20-летнему возрасту догоняют по высоте посадки. С повышением густоты посева замедляется рост ели по высоте и диаметру, в том числе и у максимальных растений. Так как групповое размещение культур ведет к усилению отпада и ухудшению роста главной породы, следует переходить на более равномерный строчный посев.

При создании культур методом посева по пластам плуга ПЛ-1 их состояние и рост улучшаются (участок 16 в Белогорском участковом лесничестве). В возрасте 19 лет их высота состав-

ляет 1,5 м. В таких посевах идет более интенсивный отпад в посевных местах и уменьшается конкуренция за элементы питания. В то же время культуры, созданные посевом по минерализованным полосам после якорного покровосдирателя (участок 14), в возрасте 36 лет имеют среднюю высоту 1,3 м.

Средний прирост по высоте у культур, созданных посевом по минерализованным полосам, за последние 10 лет не превышает 3 см, в то же время при посеве по пластам он изменяется от 4,5 до 14 см.

Проведенные рубки ухода на участке 14 в 2007 году способствовали увеличению прироста по высоте в последующие годы, который стал достигать 9 см.

Лесоустроительной инструкцией оговорен порядок описания лесных культур, ушедших под полог лиственных пород: при разнице в высотах сомкнувшихся лесных культур и смешанного с ними естественного возобновления менее 3 м они описываются в одном ярусе общим составом; при разнице от 3 до 6 м описание культур и естественной примеси производится отдельно – по ярусам, причем на первое место ставится описание лесных культур; при разнице более 6 м насаждение таксируется по верхнему ярусу, а лесные культуры описываются отдельно после его характеристики.

Посадки ели заметно эффективнее посевов. Известно, что в условиях северной подзоны тайги ель страдает от негативного воздействия низких температур в период вегетации. Многолетние опыты показывают, что в начале вегетации молодые побеги повреждаются поздневесенними и раннелетними заморозками. Это приводит к существенному замедлению роста в высоту, а в отдельных случаях к их гибели. На участке 4 показатели роста 32-летних культур в высоту и по диаметру составляют 6,2 м и 4,9 см соот-

Таблица 2

Продуктивность обследованных культур сосны и ели

№ участка	Культурируемая порода	Метод создания культур	Таксационные показатели культур		Класс бонитета по культивируемой породе (по В. С. Моисееву)	Класс бонитета по березе как преобладающей породе в древостое (по Н. П. Чупрову)
			высота, м	возраст, лет		
1	ель	посев	1,2	40	V, б	V–V, а
2	ель	посев	1,3	36	V, а	IV–V
3	сосна	посадка	13,1	34	II	–
4	ель	посадка	6,2	32	III	IV
14	ель	посев	1,3	36	V, б	не определяли
15	сосна	посадка	5,3	19	III	–
16	ель	посев	1,5	19	V	–
17	ель	посадка	4,2	18	II	не определяли
18	сосна	посев	9,0	39	IV	–
19	сосна	посадка	12,0	39	III	–
20	сосна	посадка	11,0	39	III	–
21	ель	посадка	0,8	20	V, б	IV
22	сосна	посадка	8,0	25	III	IV
23	ель	посадка	1,4	25	V, б	IV

ветственно. В результате отсутствия видимого воздействия низких температур на культуры ели на данном участке они в состоянии конкурировать с пологом лиственных пород, высота которого составляет 6,5 м при среднем количестве 7820 шт./га.

Также лучшими показателями характеризуются культуры ели, созданные посадкой по пластам (участок 17). В возрасте 18 лет при отсутствии побивания их морозом они имеют среднюю высоту 4,2 м и успешно конкурируют с пологом лиственных пород. В то же время культуры на участках 21 и 23 в возрасте 20 и 25 лет при частом побивании морозом имеют среднюю высоту 0,8 и 1,4 м соответственно.

На участках культур 21 и 23 в процессе роста наблюдалось частое побивание их заморозками. В связи с этим они имеют кустистую форму, многократно меняют верхушечный побег. Из-за побивания морозом даже обработка почвы в виде микроповышений плуга ПЛМ-1,3 на участке 23 не обеспечивает лучший рост культур.

На участке 3 культуры сосны в брусничном типе леса к 34-летнему возрасту имеют среднюю высоту 13,1 м, средний диаметр 12,2 см, что соответствует II классу бонитета. На данном участке формируется сосново-березовое насаждение составом 9С1Б+Е с общим запасом 154 м³/га. Доля культур сосны составляет 129,4 м³/га, естественного происхождения сосны – 7,6 м³/га.

Сравнивая рост культур, созданных посадкой при разных способах обработки (участки 19 и 20), необходимо отметить лучший рост при механизированной подготовке площади и обработке почвы плугом ПКЛ-70, чем при обработке ручную площадками. Также сохранность культур при механизированной обработке выше и составляет 45,7 % по сравнению с ручной обработкой (39 %).

Анализируя рост культур сосны и ели одинакового биологического возраста в брусничном типе леса, следует отметить довольно существенное отставание ели. Поэтому предпочтение в данных лесорастительных условиях целесообразно отдавать посадкам сосны.

Анализ выполненных исследований позволил сделать следующие выводы: 1) Изучение лесоводственной эффективности лесных культур позволяет заключить, что они являются надежным способом лесовосстановления на вырубках и гарях. 2) Культуры сосны и ели целесообразно создавать методом посадки. 3) Предпочтение следует отдавать посадкам сосны, которые обгоняют в росте посадки ели в 2 раза, а посевы – в 10 раз. 4) Обработка почвы является эффективным лесокультурным приемом, стимулируя рост культур в изучаемых лесорастительных условиях, по крайней мере, до 15-летнего возраста. 5) Культуры сосны, созданные посевом семян, растут по IV классу бонитета, посадкой сеянцев –

по II–III классам бонитета и обгоняют в росте по высоте полог лиственных пород. 6) Культуры ели, созданные посадкой при отсутствии побивания заморозками, растут по II–III классам бонитета и конкурируют в росте по высоте с пологом лиственных пород. 7) Культуры ели, созданные посевом, а также созданные посадкой и побиваемые заморозками, формируют второй ярус под пологом лиственных пород. В результате хозяйственная деятельность в этих насаждениях должна вестись по лиственному хозяйству с последующим формированием хвойного полога. 8) Результаты исследований свидетельствуют о возможности унификации технологии создания лесных культур, то есть орудия для обработки почвы, используемые на влажных и сырых почвах, с успехом могут применяться на вырубках с дренированными почвами.

На основе данных, а также проведенных ранее исследований разработаны предложения по повышению эффективности искусственного лесовосстановления в условиях Северо-таежного района европейской части России:

1. Разработать региональный нормативный акт, регламентирующий порядок организации и ведения работ по искусственному лесовосстановлению.

2. Лесные культуры следует создавать в брусничных, черничных, долгомошных и близких к ним типах леса, где естественное возобновление хвойными породами отсутствует.

3. В долгомошных и близких к ним типах леса обработка почвы под лесные культуры должна сопровождаться одновременной прокладкой сети неглубоких дренирующих борозд.

4. Для повышения эффективности искусственного лесовосстановления особое внимание следует уделять качеству подготовки вырубков, обработки почвы, используемого посадочного материала и правильности выбора главной породы.

5. Основным методом создания лесных культур хвойных пород необходимо считать посадку леса.

6. В посевах сосны и ели первый прием рубок ухода следует проводить в возрасте 10 лет с целью создания лучших условий растениям-лидерам в посевных местах.

7. Хозяйственная деятельность в посевах ели должна вестись по лиственному хозяйству с последующим формированием хвойного полога.

8. Предпочтение следует отдавать сосне как быстрорастущей породе и конкурирующей с лиственным пологом.

9. Культуры ели на потенциально-плодородных почвах следует создавать саженцами, а сосны – отборными сеянцами.

10. Доля культур сосны, создаваемых в Северо-таежном районе, должна составлять 70 %, ели – 30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н. А., Мелехов В. И., Антонов А. М., Коновалов Д. Ю., Клевцов Д. Н. Влияние условий произрастания на качество древесины сосны (*Pinus silvestris* L.) в посевах // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV. № 1. С. 54–58.
2. Залывская О. С. Интегральная оценка растений // Вестник БГУ. 2012. № 4. С. 83–86.
3. Моисеев В. С. Таксация молодняков: Учеб. пособие. Л., 1971. 343 с.
4. Огиевский В. В., Хиров А. А. Обследование и исследование лесных культур. Л., 1967. 50 с.
5. Петрик В. В. Связь смолопродуктивности сосны обыкновенной с некоторыми морфологическими признаками шишек и семян // ИВУЗ. Лесной журнал. Архангельск, 2006. № 4. С. 20–26.
6. Торхов С. В. и др. Основные положения организации и развития лесного хозяйства в Архангельской области // Архангельская лесоустроительная экспедиция. Архангельск, 2004. 369 с. (Утверждены протоколом совещания у заместителя руководителя Рослесхоза Нефедьева В. В. 11.01.2005 г.)
7. Чупров Н. П. Березняки Европейского Севера России. Архангельск: СевНИИЛХ, 2008. 386 с.

Sungurova N. R., Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk, Russian Federation)

Sungurov R. V., Northern research Institute of forestry (Arkhangelsk, Russian Federation)

Gaevskiy N. P., Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk, Russian Federation)

ANALYSIS OF ARTIFICIAL REFORESTATION EFFICIENCY AND SUGGESTIONS ON ITS IMPROVEMENT

The field research on the efficiency of the main methods used to improve the survival and security, the growth and quality of forest crops located in drained openings with wet and boggy soils in Northern taiga was carried out. Based on the obtained data it was shown that the differences between the average diameter of plantings and crops are significant. A more intensive growth in diameter and height was observed in crops. The research results indicate that there is a possibility to develop a unified technology of forest cultures' recreation. It means that the tools used on wet and damp soils can be successfully employed on the openings with drained soils. On the basis of these studies and earlier research data new proposals on the increase of the artificial reforestation efficiency in Northern taiga area of the European part of Russia are presented.

Key words: forest cultures, pine, spruce, reforestation, sowing, planting, the productivity of forest stands

REFERENCES

1. Babich N. A., Melekhov V. I., Antonov A. M., Kononov D. Yu., Klevtsov D. N. Influence of growth conditions on the quality of pine wood (*Pinus silvestris* L.) crops [Vliyaniye usloviy proizrastaniya na kachestvo drevesiny sosny (*Pinus silvestris* L.) v posevakh]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Coniferous boreal zone]. 2007. Vol. XXIV. № 1. P. 54–58.
2. Zalyvskaya O. S. Integrated assessment of plants [Integral'naya otsenka rasteniy]. *Vestnik BGU* [Vestnik of BSU]. 2012. № 4. P. 83–86.
3. Moiseev V. S. *Taksatsiya molodnyakov* [Valuation of young stands]. Leningrad, 1971. 343 p.
4. Ogievskiy V. V., Khirov A. A. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Examination and investigation of forest cultures]. Leningrad, 1967. 50 p.
5. Petrik V. V. Connection of the tapping pine with some morphological features of cones and seeds [Svyaz' smoloproduktivnosti sosny obyknovennoy s nekotorymi morfologicheskimi priznakami shishek i semyan]. *Lesnoy zhurnal*. Arkhangelsk, 2006. № 4. P. 20–26.
6. Torkhov S. V. i dr. Basic provisions of forestry organization and development in Arkhangelsk region [Osnovnye polozheniya organizatsii i razvitiya lesnogo khozyaystva v Arkhangel'skoy oblasti]. *Arkhangel'skaya lesoustroitel'naya ekspeditsiya* [Arkhangelsk forest inventory the expedition]. Arkhangelsk, 2004. 369 p.
7. Chuprov N. P. *Berezyaki Evropeyskogo Severa Rossii* [Birch forests of the European North of Russia]. Arkhangelsk, 2008. 386 p.

Поступила в редакцию 10.02.2014

ВЯЧЕСЛАВ ПЕТРОВИЧ ОРФИНСКИЙ

доктор архитектуры, профессор, действительный член Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), директор Института историко-теоретических проблем народного зодчества, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
niinaz@karelia.ru

ФЕНОМЕН ПРЕОБРАЖЕНСКОЙ ЦЕРКВИ КИЖСКОГО ПОГОСТА*

Рассмотрены вопросы эволюции деревянного храмового зодчества Обонежья в русле «новгородской» тенденции к достижению высотности сооружения за счет ярусного построения и архитектурной разработки храмового столпа с учетом «московской» тенденции к использованию высоких покрытий. Проведено композиционное и типологическое сравнение Преображенской церкви с ярусно-многоглавыми обонежскими церквями – Покровской Вытегорского погоста, Иоанно-Предтеченской в Шуе, Троицкой Климецкого монастыря. Особенности рассмотренных обонежских церквей обусловлены искусным использованием композиционных возможностей традиционной для деревянного зодчества формы покрытия – крещатой бочки. Предложена концепция феномена кижского храма как символа самовыражения и самоутверждения русского населения Карелии, сложившихся в условиях активных этнокультурных контактов последнего с карелами и вепсами. На примере выдающихся памятников древнерусского монументального зодчества прослежено формирование национальных архитектурных приоритетов в храмостроительстве. Преображенская церковь Кижского погоста представлена как сооружение, наиболее ярко и последовательно воплотившее в начале XVIII века средневековый архитектурный идеал русского православия – триаду «высотность, центричность, многоглавие».

Ключевые слова: Обонежье, церкви деревянные, композиционно-типологический анализ, этнокультурное взаимодействие, ярусность, высотность, центричность, многоглавие

Кижы – маленький остров на Онежском озере, частица былинного Заонежья. Здесь в 1714 году была срублена церковь Преображения Господня, отразившая, по словам академика И. Э. Грабаря, все мыслимые архитектурные добродетели: и размах фантазии, и богатство форм, и чувство пропорций, и понимание силуэта, и декоративный инстинкт. При этом уникальный храм, нарушая незыблемые законы геометрии, преодолел статику своего пирамидального объема за счет «внутренней динамики» покрытий – устремленных вверх упругих килевидных бочек.

«Проверка гармонии алгеброй» показала, что в основу феерического образа Преображенской церкви ее творцами – плотниками-зодчими была положена четкая композиционная схема в виде трех последовательно уменьшающихся кверху срубов-восьмериков. Основной из них, нижний, имеет четыре двухступенчатых прямоугольных прируба-контрфорса, увеличивающих площадь молитвенного помещения и придающих устойчивость храмовому столпу. По перекрытым бочками уступам прирубов и двух нижних восьмериков избегают скульптурные главки, над хорами которых возвышается на пьедестале третьего верхнего восьмерика венчающая храм центральная глава.

Нюансная градация размеров малых главок по ярусам и их впечатляющий контраст с большой

центральной главой повышают динамичность композиции и выявляют структуру сооружения, основной восьмерик которого отмечен короной восьмиглавия в отличие от четырехглавого венчания второго, промежуточного восьмерика. Прихотливой игре архитектурных объемов аккомпанирует декор: кокошники между бочками, завершающими верхние уступы прирубов и украшающие барабан центральной главы, резные подзоры и причелины кровель, чешуя лемеха и ажур красного теса полиц, кувшинообразная порезка столбов крыльца. Но, несмотря на многообразие форм и богатство декора, храм производит исключительно целостное впечатление благодаря сквозному подобию элементов его венчания – главок и бочек.

Преображенская церковь по своему объемно-пространственному решению имела только один известный прецедент – срубленную за 6 лет до нее в южном Обонежье церковь Покрова Богородицы Вытегорского погоста в селе Анхимово (1708). Типологически обе церкви принадлежат к башенным (высотным) ярусно-многоглавым храмам с ярко выраженной центричной организацией объема и интерьера.

Исследователей деревянного зодчества давно интересовала причина возникновения на периферии Российского государства этих двух удивительных храмов. В частности, П. Н. Максимов

объяснял триумф обонежских плотников тем, что они, оставаясь верными традициям народного зодчества, сумели синтезировать в своих произведениях конструктивные и художественные достижения ряда лучших сооружений Русского Севера, включая не только культовые постройки соседнего Прионежья, но и церкви в селе Уна, на Ишне и Шижнеме, а также в Тихвинском посаде [4; 45].

Возможно, такой интеграции архитектурных приемов и форм в Обонежье способствовали перипетии истории, смещавшие импульсы экономического развития края с запада (во времена господства Великого Новгорода) на восток (в Московский период) и обратно (после основания Петербурга), что создавало на территории Заонежских погостов попеременно условия для активизации архитектурно-строительной и, шире, культурной деятельности и стабилизации сложившихся традиций.

Впрочем, все это в той или иной степени присуще многим субрегионам Русского Севера и потому неспособно полностью объяснить кижский феномен. Не связан ли он с отголосками традиций новгородских «древделей», сохранившихся среди их потомков – заонежан? Во всяком случае упоминание «об досюльном житье новгородском» нередко встречается в заонежском фольклоре, а собиратель последнего Е. В. Барсов особо отмечал глубокие симпатии заонежан к древнерусскому быту, в котором они видели свои идеалы, по отношению к которому оценивали свое настоящее [18; XIII–XIV].

В этой связи безусловный интерес представляет мнение фольклористов о причинах сохранения былинных традиций Заонежья. Еще в 1894 году В. Ф. Миллер сформулировал концепцию о приуроченности ареалов былин на Русском Севере к территориям былой новгородской колонизации [10]. В дальнейшем былинная «новгородская теория» как подтверждалась, так и ставилась под сомнение, а в конце XX века была кардинально пересмотрена Санкт-Петербургским фольклористом Т. Г. Ивановой. Ее гипотеза сводится к следующему: все былинные регионы являются зонами этнического пограничья, где в результате культурных контактов с аборигенным населением обострялось этническое самосознание русских переселенцев, закономерно сравнивающих себя с иноэтничными соседями и отстаивающих свое собственное этническое «мы» с помощью песенного эпоса. Одним из таких регионов и стало порубежное Заонежье [5]. Убедительно версию Т. Г. Ивановой подтверждают историко-архитектурные данные [13].

Но насколько правомерно отождествлять закономерности развития поэтического фольклора и архитектурного формообразования в народном зодчестве? В самом деле, по Т. Г. Ивановой, акти-

визация русского былинного творчества совпала с периодами билингвизма («бифольклоризма» по терминологии исследователя), когда наиболее ярко проявлялось культурное противостояние разноэтничных групп населения. Естественно, что при полной ассимиляции одной из этих групп исчезал стимул для этнического самоутверждения другой группы и, соответственно, угасала былинная традиция [5; 90–91]. Именно это, по видимому, и произошло в позднесредневековом Новгороде применительно к былинам – произведениям устного народного творчества, «историко-культурная миссия» которых ограничивалась преимущественно временем воспроизведения. Иное дело архитектура – «летопись мира», произведения которой, воспринимавшиеся в периоды обострения самосознания широких народных масс как символы этнического самовыражения, со временем могли переосмысливаться – как бы переводиться в особую категорию примет места с постепенно затухающим этнокультурным подтекстом [16; 462–464], способных, однако, в случае этнизации общественного сознания возрождать свои первоначальные смыслы.

Действительно, в противоположность былинному эпосу, не сохранившемуся в самом Новгороде и его ближайшем окружении, некоторые архитектурные формы, предположительно возникшие на Новгородчине в период ее самостоятельности, позднее были зафиксированы не только в этническом порубежье бывшей вечековой республики – в Посвирье и Обонежье, но и в ее центре – в окрестностях Новгорода. Это обстоятельство послужило предпосылкой для архитектурных интерпретаций гипотезы М. Ф. Миллера о распространении былинного эпоса на Русском Севере. Впервые такую «интерпретацию» осуществил А. Б. Бодэ путем систематического сопоставительного анализа результатов картографирования отголосков древних новгородских и московских традиций в деревянном зодчестве Русского Севера [1], [2].

Думается, что на Новгородской земле проявлялась универсальная особенность архитектурных традиций – зависимость их устойчивости (при прочих равных условиях) от времени укоренения. Естественно, что в центре Новгородчины традиции укоренились раньше, чем на большей части остальной территории. Что же касается восточного ареала отголосков традиционных форм, то он, видимо, сложился в результате стимулирующего воздействия на традиционное храмостроительство особой устремленности местного населения к этническому самовыражению.

Чтобы убедиться в правомерности такого предположения, рассмотрим цепочку преемственной связи, ведущей из глубины веков к Преображенской церкви в Кижях (1714) и ее бли-

жайшей предшественнице – Покровской церкви Вытегорского погоста (1708).

Первое сохранившееся звено этой цепочки – монументальный тринадцатиглавый собор Софии в Киеве, построенный в 1037–1045 годах византийскими мастерами по образу и подобию одноименного храма в Константинополе. Однако, несмотря на это, киевский собор разительно отличался от авторитетного прототипа и всех известных византийских церквей, напоминая многоглавой пирамидальностью наружного объема и мелкоячейистой структурой интерьера известные нам по более поздним примерам сооружения деревянного зодчества.

Особенности архитектуры киевской Софии, возможно, смог бы прояснить первенец христианского храмостроительства на Руси – тринадцативерхий дубовый Софийский собор в Новгороде, но, срубленный в 989 году, он уже в XI веке сгорел, оставив после себя лишь невнятное сообщение летописца, дополненное позднейшими гипотезами. Одна из них была высказана в 1870-х годах археологом А. С. Уваровым, развитая в 1990-е годы О. М. Иоаннисяном и сводится к следующему: к возведению деревянного собора новгородский епископ Иоаким Корсунянин как «природный грек <...> привлек греческих зодчих, которые применили рисунок и формы каменных византийских церквей с куполами к деревянным постройкам и поместили на Софийском храме тринадцать глав» [24; 23]. Однако специфика дерева как строительного материала неизбежно должна была внести коррективы в замысел византийцев, потребовав, как минимум, замены обширного молитвенного помещения системой стыкованных срубов-колодцев, соединенных между собой проемами и освещаемых сверху через окна в барабанах куполов («верхов»), расположенных над каждым из них, вместо единственного купола над кафоликоном, как это было в храмах-эталонах. Такие срубы неизбежно должны были образовать сложное внутреннее пространство, аналогичное по принципу построения интерьеру монументального киевского собора [7]. К сказанному добавим, что в отличие от деревянного сооружения в Новгороде в киевской Софии мелкоячейистая структура внутреннего пространства не вызывалась технической необходимостью и потому, скорее всего, была продиктована заказчиком – великим князем Ярославом Мудрым, который предпочел уже адаптированные на Руси образцы. Формы главного сооружения Новгорода конца X – начала XI века – дубового Софийского собора, по видимому, представлялись Ярославу Мудрому как «примета» Руси. Вероятность такого предположения подтверждают факты привязанности Ярослава к городу на Волхове, где он княжил

в юности и дружина которого дважды сажала его на Киевский стол [25; 104–106].

Таким образом, в X–XI веках в древнерусском храмостроительстве впервые формы, рожденные в камне, а затем интерпретированные в дереве, вновь уже в переработанном виде вернулись в монументальную архитектуру, предопределив уникальный художественный образ главного храма восточно-славянской державы.

В дальнейшем взаимосвязь образов деревянного и каменного зодчества осуществлялась в разных направлениях. Подтверждение тому – каменный первошатер церкви Вознесения в Коломенском (1532), построенный, по словам летописца XVI века, «на деревянное дело» [22; 88], [23; 268], а затем вызвавший многочисленные подражания, причем, важно отметить, не только в каменном храмостроительстве. Под его воздействием в бассейне Северной Двины, связывавшей центр Московской Руси и ее столицу с портами Студеного (Белого) моря, в XVI–XVII веках сформировались величественные деревянные храмы с подчеркнута высокими шатровыми наверхиями [15; 75].

В пределах бывшей Новгородской земли высотные шатровые храмы распространялись с востока на запад синхронно с усилением московских влияний и ассимиляцией прибалтийско-финского населения, проживавшего чересполосно с русскими потомками новгородских переселенцев. К XVII–XVIII векам восточно-русские («московские») храмостроительные традиции достигли бассейна Онежского озера, где столкнулись с отголосками традиций новгородских. Для тех и других было характерно стремление к высотности культовых построек, но реализуемое по-разному: за счет увеличения высоты покрытия на востоке, срубного основания – на западе. Показательны в этом отношении реконструкции с увеличением высоты покрытия некоторых существующих обонежских храмов без каких-либо видимых утилитарных оснований для этого. Примеры тому – церковь в селе Росляково вблизи Пудожа, в которой под высоким шатром конца XVIII века сохранился низенький первоначальный шатрик, и церковь Ильи Пророка (1692) в селе Самино в юго-восточном Обонежье, где во второй половине XVIII века был устроен новый шатер, на 1,9 м превышающий по высоте первоначальный. Примечательно, что в Самино реконструкция была осуществлена ценой нарушения логики конструктивного решения – сохранившееся срубное основание первоначального покрытия перестало служить опорой для стропил нового шатра, что потребовало устройства дополнительных ригелей и подкосов [20; 102–107].

Думается, что «московская» храмостроительная тенденция связана с формированием в позднее Средневековье всероссийской архитектурной

общности. Что же касается «новгородской» тенденции, то из-за недостатка фактических данных о причинах ее возникновения можно только гадать. Но одно представляется бесспорным: развитие «новгородской» ветви деревянного храмо-строительства происходило за счет архитектурной разработки храмового столпа. Так, популярность клетских церквей на Новгородчине привела к формированию там ярусно-четвериковых композиций, в которых искомым художественный эффект высотности достигался обычным для многих видов народного творчества способом – путем повтора однотипных структурных элементов. Пример тому – церковь Иоанна Предтечи Ширкова Погоста (1694) и известные по иконографическим источникам ее предшественники [8; 274]. По предположению П. Н. Максимова, генезис таких храмов, упоминаемых в новгородских писцовых книгах XVI века под именем деревянных церквей «на каменное дело», связан с новгородскими и псковскими каменными культовыми постройками с крещатым (восьмискатным) покрытием [8; 274–275]. Но в деревянном зодчестве строительный материал позволял превращать такие церкви в ярусные башни, ставя один на другой несколько постепенно уменьшающихся срубов, подобно тому, как это сделано в Иоанно-Предтеченской церкви Ширкова погоста.

В русле «новгородской» тенденции к созданию ярусных структур лежат и деревянные «базиликообразные» церкви, зафиксированные в XVII веке на рисунках из альбома А. Мейерберга [9]. Их форма, скорее всего, была навеяна средневековыми западноевропейскими базиликами и вполне могла возникнуть под влиянием «латинян» в древнем Новгороде. В свою очередь, двух-трехступенчатые срубы базиликообразных храмов, по-видимому, послужили прецедентом для ярусности уступчатых (каскадных) крыш. Правомерность такого предположения подтверждает внешне занимающая промежуточное положение между храмами базиликообразными и храмами с каскадными покрытиями Никольская церковь из новгородской деревни Тухоля (XVII–XVIII века).

Дальнейшая эволюция каскадных покрытий в соответствии с универсальной архитектурной закономерностью преобразования конструктивных или конструктивно-декоративных форм в формы чисто декоративные, по-видимому, протекала в направлении от крупноуступчатых к мелкоуступчатым крышам базилик.

Формы разностадиальных каскадных крыш в деревянном зодчестве можно проиллюстрировать на примере сохранившихся до наших дней разновозрастных храмов – церкви Рождества Богородицы в деревне Лиственка (1559) с крупноуступчатой крышей и Георгиевской церкви в селе Юксовичи (1493) с мелкоуступчатым покрытием.

Традиционализм крестьянской культуры на Русском Севере предопределил возможность длительного параллельного бытования разностадиальных архитектурных сооружений, что нередко вызывало несоответствие стадиальных и хронологических характеристик сосуществующих храмов. Отсюда, применительно к устройству покрытий, относительная молодость прототипа (церкви Рождества Богородицы в Лиственке) и древность производной от него (Георгиевской церкви в Юксовичах).

Оба храма расположены на территории современной Ленинградской области в пределах восточного периферийного ареала отголосков новгородских архитектурных традиций. Кстати, в этой связи важно отметить, что датировка церкви в Юксовичах XV веком подтверждает вероятность существования ярусных композиций в деревянном храмо-строительстве Великого Новгорода в период его самостоятельности. Косвенно о длительности укоренения такого композиционного приема на новгородских землях свидетельствует и его необычайная устойчивость: воспроизведение в юго-восточном Обонежье, на Вытегорщине, в сомкнутых покрытиях – «каскадных колпаках» – уступчатости новгородских двускатных крыш до конца XVIII века (церковь Ивана Великого в Замошье, 1787) и даже до рубежа XIX–XX веков (Никольская церковь конца XIX века в д. Сяргозеро). В обоих случаях излом скатов достигался благодаря переменному сечению стропил, состоящих в нижней части из одного, а в верхней – из двух брусев. Эта особенность позволяет усматривать в решении стропильной системы относительно «молодых» обонежских храмов стремление сымитировать уступчатость традиционных каскадных крыш, которая обычно достигалась за счет устройства специальных срубных стенок.

Композиционный анализ старейшей из известных ярусно-многоглавых храмов Обонежья – Покровской церкви Вытегорского погоста свидетельствует, что в ней объединились оба применявшихся на Новгородчине принципа компоновки объемов – центрично-ярусный с «называнием» срубов на вертикальную ось (подобно Иоанно-Предтеченской церкви Ширкова Погоста) и поперечно-уступчатый, характерный для базиликообразных построек и реализовавшийся в башенных храмах в виде прирубов, утративших свою продольную направленность из-за центричной формы «сердечника».

Проявилась в Покровской церкви и характерная для Новгородчины однотипность решения венчания храмового столпа и межъярусных элементов в виде крещатых (восьмискатных) крыш, в последнем случае как бы расчлененных, что позволило поместить в расширенное средокрестие вышележащий объем. Правда, вместо ранне-

новгородских прямоскатных покрытий в Вытегорском храме были применены бочки, а из-за усложнения формы «сердечника» (замены четвериков восьмериками) в третьем ярусе храмового столпа к основной расчлененной крещатой бочке добавилась аналогичная, но развернутая под 45°, что образовало нарядный бочечный пояс.

Венчающая Покровскую церковь крещатая бочка, над средокрестием которой поставлена центральная глава, а на ветвях – аккомпанирующие ей малые главки, стала своеобразным ключом, раскрывающим секрет построения сложной системы покрытий. В Преображенской церкви Кижского погоста такой ключ отсутствует: дополнительный восьмерик – пьедестал центральной главы, возведенный в средокрестии крещатой бочки, лишил последнюю возможности служить точкой отсчета в сопоставительном ряду родственных элементов, тем самым сохранив интригующую загадочность своего формообразования. Увеличение числа ярусов до пяти, а также изменение пропорций храмового столпа за счет уменьшения ширины диагональных граней основного восьмерика и длины прирубов к нему – все это придало облику Преображенской церкви по сравнению со своим предшественником и прототипом – церковью Покрова в Анхимове – большую стройность, композиционную завершенность и, главное, подчеркнуло высотность, являющуюся общим знаменателем для «новгородских» и «московских» храмостроительных тенденций позднего Средневековья.

Характерное для восточных славян стремление к высотности архитектурных сооружений во многом было предопределено спецификой дохристианского религиозного ритуала, согласно которому храм являлся не местом богослужения, совершавшегося преимущественно на лоне природы, а объектом поклонения [11; 33], [19; 134]. Не случайно разработка темы высотности пунктирно прошла через всю историю домонгольского монументального храмостроительства, проявляясь синхронно с изменениями национального самосознания. Усиления тенденции к высотности совпали с двумя известными случаями поставления на киевский митрополичий стол русских по происхождению священнослужителей – Илариона в 1051 году и Климента в 1147-м [21; 105–106], что, видимо, стало результатом усилий со стороны прославянски настроенных князей. Не менее показательны и спады высотности, приуроченные ко времени татаро-монгольского нашествия XIII–XIV веков, а до этого к периоду с 1070-х годов до первой половины XII века включительно, когда после смерти Ярослава Мудрого ослабла великокняжеская власть и, наоборот, увеличилось влияние провизантийски настроенных монастырей.

Другим архитектурным приоритетом для восточных славян являлась центричность, олицетворявшая универсальную идею сакральности во многих архаичных культурах. В Византии она укрепилась в результате преемственного развития дохристианских традиций греко-римской античности и Востока (мрастирии – ранневизантийские центричные храмики над могилами святых [3; 25], купольные сооружения Древнего Рима и иранские храмы огня [3; 82–83]).

Первоначальная приуроченность богослужебного действия в византийских культовых постройках к геометрическому центру кафоликона не противоречила языческой обрядности, рассчитанной на активное участие в нем всех присутствующих. Видимо, поэтому идея центричности с готовностью была воспринята и древнерусским храмостроительством. Правда, к моменту крещения Руси в самой Империи ромеев происходила ритуальная переориентация с изменением характера службы, ставшей более камерной и сместившейся с центрального амвона на предалтарную солею. На Руси ритуальные изменения вскоре затронули и каменное храмостроительство. И только деревянные башенные церкви в силу присущего народному зодчеству традиционализма относительно долго сохраняли отголоски древней традиции. Один из примеров тому – Преображенская церковь в Кижях, в которой солея и фланкирующие ее клиросы выдвинуты к средней части кафоликона.

Органичное для древнерусского храмостроительства сочетание высотности и центричности – двух из трех наметившихся в киевской Софии архитектурных особенностей – блистательно воплотилось в храме-монументе Вознесения в Коломенском (1532), построенном, как уже отмечалось, «на деревянное дело» по заказу московского государя Василия III.

Третья особенность Софийского собора в Киеве – многоглавие. Обостряя силуэтные характеристики храма, оно вкупе с высотностью и центричностью подчеркивало приоритетность его наружного объема по отношению к внутреннему пространству. Тема многоглавия в исследованиях отечественной архитектуры имеет обширную историографию, где оно, несмотря на продолжающуюся дискуссию по поводу генезиса многоглавых венчаний храмов, единодушно оценивается как традиционно русское архитектурное явление. Дополнительным подтверждением такой оценки служит то, что популярность многоглавия в большинстве случаев проявлялась синхронно с переориентацией общественного сознания на национальные приоритеты в ходе исторического развития [14; 74–80].

Без сомнения, не будет преувеличением назвать триаду «центричность, высотность и многоглавие» национальным идеалом в храмо-

роительстве русского Средневековья. Наиболее полно и последовательно этот идеал воплотился в московском соборе Покрова на Рву, построенном, скорее всего, русскими зодчими Бармой и Постником по заказу Ивана IV Грозного в 1555–1561 годах в ознаменование победы над Казанским ханством. «Предивный» храм-ансамбль впитал в себя опыт как каменного, так и деревянного зодчества. Причем последний для создателей собора, видимо, представлялся более приоритетным. Подтверждение тому – программное уподобление деревянным прототипам основных композиционных акцентов – центрального объема шатровой Покровской церкви и больших восьмигранных приделов, в противоположность «каменному» пластическому решению малых четырехгранных приделов. Более того, различие в пластической трактовке храмов подчеркивалось иерархической субординацией их посвящений [14; 74–79].

Сказанное, на первый взгляд, противоречит постулату о престижности каменного храмо­строительства на Руси и, думается, имеет только одно объяснение: традиции деревянного зодчества представлялись создателям храма исконно русскими и наиболее чуждыми византийским канонам. И хотя непосредственные носители таких традиций – деревянные церкви – в силу своей недолговечности и пожароопасности не способны были конкурировать с монументальными храмами, их, так сказать, «духовная ипостась», отражающая сакральные идеалы пращуров, воплощенная в ином, «вечном» материале, видимо, представлялась самому царю и патриотически настроенным духовным иерархам символом национального возрождения Руси и средством прославления ее государя [14; 54–55].

Несомненное сходство трех вершин древнерусской архитектуры – явно новаторских храмов Софии в Киеве, Вознесения в Коломенском и Покрова на Рву, с произведениями деревянного зодчества (в последнем случае к тому же трактуемых как явно приоритетные) свидетельствует, что сходство с освященными «обычаем» образцами являлось одним из основных условий адаптации в традиционной среде новой архитектурной формы. Именно поэтому, казалось бы, безграничная экспансия византийского церковного канона на Русь – полуязыческую, не знавшую каменного строительства страну, обернулась созданием нового архитектурного языка, в котором греко-византийские слова уже в первой половине XI века получили отчетливую «славянскую интонацию» [12; 30–34], а к XVI веку почти полностью вышли из употребления из-за несоответствия с представлениями русичей о наружном облике культовых сооружений как доминанты их объемно-пространственной композиции [6].

Зарождение и возрождение триады «высо­тность, центричность, многоглавие», наглядно отразившей храмо­строительный идеал русского Средневековья, приурочивались к расцвету Киевской, а затем Московской Руси. Напротив, распад Киевской державы вызвал усиление диктата византийского церковного канона в культовом зодчестве первой половины XI века. Только к середине XII века в унисон с ростом прославянских настроений князей активизировались исторические «воспоминания» о всплеске национального самоутверждения в храмо­строительстве [12; 30–34]. В целом же на протяжении XI–XIII веков развитие монументальной культовой архитектуры протекало преимущественно под знаком противоборства привнесенных вместе с христианством византийских церковных канонов и славянских традиционных предпочтений.

Покровский собор в Москве сыграл особенно важную роль в истории русской архитектуры, став одновременно и заключительным аккордом в процессе материализации архитектурного идеала русского Средневековья, и предвестником эволюционных преобразований Нового времени. Однако такое утверждение справедливо только по отношению к каменному храмо­строительству, поскольку в деревянном культовом зодчестве фи­нальный аккорд переместился на полтора столетия. Им стала церковь Преображения Кижского погоста.

Время возведения Преображенской церкви и ее ближайшей предшественницы Покровской церкви Вытегорского погоста – начало XVIII века, как известно, связано с изменением культурно-исторической ориентации России, отразившейся в «архитектурной разноголосице» – смеси итало-северогерманских традиций, воцарившейся при Петре I в профессиональном храмо­строительстве. В этих условиях возрождение в Обонежье древнерусских архитектурных приоритетов, противоречащих официальным имперским тенденциям, проще всего можно объяснить особенностями региона.

Здесь, в зоне активных межэтнических контактов русского, карельского и вепсского населения, как и во всякой порубежной зоне, в результате этнокультурного взаимодействия складывались не только интегральные этнокультурные символы, но и формы-символы национального самовыражения и самоутверждения, наиболее ярко и образно отражавшие культурные приоритеты этих народов. Вот почему закономерным выглядит обращение потомков новгородских землепроходцев к своим исконным традициям, уходящим корнями в далекую дохристианскую древность. В очередной раз они мастерски разыграли «славянский сценарий» формообразования в двух богатых погостах – Вытегорском и Кижском, находившихся в эпицентрах этнокультурных

процессов: даже в последней трети XIX века в непосредственной близости от русского населения указанных погостов проживали в первом случае – «чудь» и «чудь обрусевшая», а во втором – «чудь обрусевшая» и карелы в районе Великой Губы – Вегоруксы – Пегремы.

Покровская церковь Вытегорского и церковь Преображения Кижского погостов – классические примеры этнических символов, к числу которых можно отнести еще два известных ярусно-многоглавых храма, расположенных поблизости от Кижей, – Троицкую церковь Климецкого монастыря и Иоанно-Предтеченскую церковь в Шуе. Они, на первый взгляд, отражали два этапа эволюции многоглавых завершений, композиционная целостность которых достигалась подобием силуэтных характеристик исходных форм – бочек, килевидных в поперечном сечении с ярко выраженной «пучиной», и венчающих их главок.

Сочетание расчлененной и нерасчлененной крещатых бочек, увенчанных главками, предопределило композиционный замысел Троицкой церкви Климецкого монастыря, а дальнейшее усложнение завершения путем чередования по высоте расчлененных крещатых бочек с ортогональной осевой и диагональной ориентацией (развернутых под углом в 45° друг к другу) отражено в многоглавии храма в Шуе. Наконец, соединение разноориентированных расчлененных крещатых бочек в одноуровневом покрытии создало непрерывный бочечный пояс, увенчавший нижний восьмерик ярусно-многоглавой композиции Преображенской церкви в Кижях. Покрытия перечисленных храмов Климецкого монастыря, Шуйского и Кижского погостов образуют постепенно усложняющийся ряд морфологически родственных форм, который, однако, нельзя отождествлять с эволюционным рядом из-за хронологического несоответствия: ближайшая предшественница кижского храма, предвосхитившая его формы, – церковь Покрова Вытегорского погоста – датируется 1708 годом. Следовательно, срубленные в 1712 году Троицкая и в 1714-м Преображенская церкви, а также датируемый в широких пределах XVIII века Иоанно-Предтеченский храм в Шуе являются ее репликами, упрощенными в первом и третьем случаях и почти буквальными во втором.

Несомненное родство описанных обонежских храмов свидетельствует о целенаправленном поиске в культовом зодчестве Обонежья и Заонежья особых средств архитектурной выразительности, основанных на использовании крещатых бочек, о закономерном развитии в последующей постройке формообразующих тенденций, заложенных в храме-предшественнике, и о воплощении промежуточных творческих находок в храмах более низкого иерархического уровня.

Можно утверждать, что в раннее Новое время народное храмостроительство было вполне способно отразить волю и художественные предпочтения коллективного заказчика – «мира» черносошных (позднее государственных) крестьян и коллективного подрядчика – плотницкой артели; руководившие ею мастера при любой степени профессионализации практически не прерывали связи с традиционной и консервативной крестьянской культурой, что придавало преемственный характер архитектурному формообразованию.

Власть самодержца, даже такого жестокого и решительного, как Петр I, оказалась неспособной преодолеть преемственность развития народного зодчества. В частности, отрицательно отреагировала на попытку реформирования культуры северно-русского крестьянства: указ императора от 1722 года «О сломании построенных часовен» [17] так и не был выполнен, и традиционные деревянные безалтарные храмы продолжали рубиться на Русском Севере до конца XIX века, а местами – до начала XX века включительно.

Преемственность уподобляла эволюцию народного деревянного храмостроительства постепенному процессу естественного отбора, ускоренному благодаря взаимодействию в фольклорной по своему характеру крестьянской культуре коллективистских и индивидуально-творческих начал. Последние форсировали творческий процесс. Первые, наоборот, из-за своей ретроспективной направленности затормаживали его, играя в механизме фольклорного отбора роль фильтра, обеспечивающего совместимость новаций с традициями народной культуры. Именно такой «фильтр» стал залогом развития относительно медленного, но «закономерного», не осложненного последствиями субъективных архитектурных пристрастий. Подтверждение тому – возрождение в начале XVIII века на северо-западной периферии страны архитектурного идеала русского Средневековья, особенно примечательное на фоне характерной для монументального зодчества Петровской эпохи стилистической пестроты явно подражательных прозападных архитектурных манер и направлений, которые лишь в 1730-е годы сменились единством стиля елизаветинского барокко [26].

Налицо парадокс: профессиональная архитектура первой трети XVIII века, несмотря на несоизмеримо большие экономические возможности, не смогла создать ни одного сооружения, способного конкурировать с деревянной приходской церковью в Кижях по оригинальности и выразительности образных характеристик, уже не говоря о национальной самобытности, явно отсутствующей в то время в творениях зарубежных мастеров и их российских выучеников.

Итак, подытоживая сказанное, можно констатировать: ярусно-многоглавые храмы Обонежья и Заонежья безусловно являлись этническими символами – образными выражениями результатов культурных контактов соседствующих народов, наделявших архитектурные формы знаковыми функциями. Самые значительные из них – церкви Покрова Вытегорского и Преображения Кижского погостов – были построены русскими в зонах культурного сопоставления с вепсами в первом случае, с вепсами и карелами – во

втором. Поэтому в процессе творческого соревнования с иноэтничными соседями в Обонежье и Заонежье целенаправленно акцентировались наиболее существенные признаки «своей» архитектуры, контрастно противопоставляемые архитектуре «чужой». Такими этнодифференцирующими признаками русским плотникам-зодчим в раннее Новое время, по-видимому, представлялись центричность, высотность и многоглавие – слагаемые русского средневекового храмостроительного идеала.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/154 в сфере научной деятельности, НИР № 1704.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодэ А. Б. Древние новгородские и московские традиции в деревянном культовом зодчестве Севера XVI–XVIII вв. // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению, развитию архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2010 году. Научные труды РААСН. М.; Орел, 2011. С. 149–153.
2. Бодэ А. Б. Древние новгородские влияния в деревянном зодчестве северо-западных областей XVI–XVIII веков // Академия. 2014. № 1. С. 50–54.
3. Брунов Н. И. Архитектура Византии // Всеобщая история архитектуры в 12 томах, том 3: Архитектура восточной Европы. Средние века. М.: Изд-во литературы по строительству, 1966. С. 16–160.
4. Забелло С., Иванов В., Максимов П. Русское деревянное зодчество. М.: Государственное архитектурное изд-во Академии архитектуры СССР, 1942. 215 с.
5. Иванова Т. Г. Заонежская былинная традиция и проблема географического распространения былин // Международная научная конференция по проблемам изучения, сохранения и актуализации народной культуры русского Севера «Рябининские чтения'95»: Сб. докл. / Музей-заповедник «Киж». Петрозаводск, 1997. С. 82–91.
6. Ильин М. А. О единстве домонгольского русского зодчества // Советская археология. 1968. № 4. С. 88–93.
7. Иоаннисян О. М. Деревянные храмы домонгольской Руси // Успенская церковь в Кондопоге: Сб. ст. по материалам конференции. Кондопога; СПб.: Герменевт, 1996. С. 28–35.
8. Максимов П. Н., Воронин Н. Н. Деревянное зодчество XIII–XVI веков // История русского искусства. Т. III. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 245–281.
9. Мейерберг А. Альбом. Виды и бытовые картины России. XVII в. СПб., 1903. 189 с.
10. Миллер В. Ф. Наблюдения над географическим распространением былин // Журнал министерства народного просвещения. 1894. № 5. С. 43–77.
11. Орфинский В. П. Народное деревянное культовое зодчество Российского Севера: истоки развития // Народное зодчество: Сб. науч. трудов. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1992. С. 32–62.
12. Орфинский В. П. Загадки храма Софии – Премудрости Божией // Архитектура в истории русской культуры / Научный совет по историко-теоретическим проблемам искусствознания ОЛЯ РАН, НИИТАГ РААСН, МАрХИ. М., 1996. С. 45–48.
13. Орфинский В. П. К вопросу о типологии этнокультурных контактов в сфере архитектуры // Проблемы российской архитектурной науки: Сб. науч. трудов членов Отделения архитектуры РААСН. М.: РААСН, 1999. С. 78–94.
14. Орфинский В. П. Собор Покрова на Рву и его аналоги. (О взаимовлияниях деревянного и каменного храмостроительства на Руси) // Народное зодчество: Межвуз. сб. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 47–85.
15. Орфинский В. П. Церковь Вознесения в Коломенском как ключевое звено в истории изучения российского храмостроительства // Архитектура в истории русской культуры. Вып. III: Желанное и действительное. М.: Эдиториал УРСС, 2001. С. 60–78.
16. Орфинский В. П., Гришина И. Е. Традиционный карельский дом. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2009. 480 с.
17. Полное собрание законов Российской империи с 1649 г. Т. 10. СПб., 1830. Общее приложение к томам полного собрания законов. К тому XI.– 1722, п. 3924а – апреля 2. С. 1.
18. Причитания Северного края, собранные Е. В. Барсовым. Ч. II. Плачи завоенные, рекрутские и солдатские. М., 1882. 335 с.
19. Рыбаков Б. А. Язычество Древней Руси. М.: Наука, 1988. 784 с.
20. Савандер К. Ю. К вопросу о пропорционировании деревянных шатровых храмов Российского Севера // Народное зодчество: Межвуз. сб. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. С. 99–114.
21. Смирнов П. История христианской православной церкви. М.: Крутицкое патр. подворье, 1994. 305 с.
22. Тихомиров М. Малоизвестные летописные памятники XVI в. // Исторические записки. 1941. Кн. X. С. 64–94.
23. Тихомиров М. Летописные памятники б. Синодального патриаршего собрания // Исторические записки. 1942. Кн. XIII. С. 256–283.
24. Уваров А. С. Об архитектуре первых деревянных церквей на Руси // Труды II археологического съезда в Санкт-Петербурге. Вып. 1. СПб., 1876. С. 1–24.
25. Фроянов И. Я. Древняя Русь. Опыт исследования социальной и политической борьбы. М.; СПб.: Златоуст, 1995. 703 с.
26. Швидковский Д. О. Императорский указ и система взаимосвязей русской и европейской архитектуры в течение XVIII столетия // Заказчик в истории русской архитектуры. Архив архитектуры. Вып. V. 2. М., 1994. С. 141–148.

Orfinskiy V. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

PHENOMENON OF TRANSFIGURATION CHURCH OF KIZHI CHURCHYARD

The evolution of wooden temple architecture in Obonezhye, affected by the “Novgorod” trend to build higher multistorey structures and by closer attention to tower-like temples incorporating the “Moscow” trend of high roofs, is discussed. The Church of Transfiguration is compared compositionally and typologically with the many domed Obonezhye churches such as the Church of Intercession in Vytegra community, the Church of John the Forerunner in Shuya, and the Trinity Church in Klimetsky Monastery. Characteristics of Obonezhye churches are presented through the skilful use of the churches’ compositional potential “kreshchataya bochka” (eight-sloped roof made by the intersection of two roofs resembling a barrel), a traditional form of the roof in wooden architecture. The concept of the Kizhi temple phenomenon as a symbol of self-expression and self-assertion of the Russian population residing in Karelia, formed under the influence of active ethnic and cultural contacts of the Russians with Karelians and Vepsians, is proposed. Examples of outstanding Old Russian wooden architectural monuments are given to trace development of national architectural priorities in temple construction. The Church of Transfiguration in the Kizhi rural community is described as a structure, which in the early 18th century most vividly and consistently embodied the medieval architectural ideal of the Russian orthodoxy – a triad: high, centric, many domed structure.

Key words: Obonezhye, wooden churches, compositional and typological analysis, ethno-cultural interaction, multistorey structure, height, centrality, many domed structure

REFERENCES

1. B o d e A. B. Old Novgorod and Moscow traditions in the wooden cult architecture of North Russia in the XVI–XVIII centuries [Drevnie novgorodskie i moskovskie traditsii v derevyannom kul'tovom zodchestve Severa XVI–XVIII vv.]. *Fundamental'nye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu, razvitiyu arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2010 godu. Nauchnye trudy RAASN* [Fundamental RAABS studies of the scientific support for architecture, city planning and building in the Russian Federation in 2010. Scientific papers RAABS]. Moscow; Orel, 2011. P. 149–153.
2. B o d e A. B. Old Novgorod influences in the wooden architecture of the northwestern provinces in the XVI–XVIII centuries [Drevnie novgorodskie vliyaniya v derevyannom zodchestve severo-zapadnykh oblastey XVI–XVIII vekov]. *Akademiya* [Akademia]. 2014. № 1. P. 50–54.
3. B r u n o v N. I. Architecture of Byzantium [Arkhitektura Vizantii]. *Vseobshchaya istoriya arkhitektury: V 12 tomakh. T. 3: Arkhitektura vostochnoy Evropy. Srednie veka* [General history of architecture in 12 volumes, volume 3: Architecture of Eastern Europe. Middle Ages]. Moscow, Publishing House for Literature on Building, 1966. P. 16–160.
4. Z a b e l l o S., I v a n o v V., M a k s i m o v P. *Russkoe derevyannoe zodchestvo* [Russian wooden architecture]. Moscow, State Architectural Publishing House of the Soviet Academy of Architecture, 1942. 215 p.
5. I v a n o v a T. G. Trans-Onegan bylina tradition and the geographic distribution of bylinas [Zaonezhskaya bylinnaya traditsiya i problema geograficheskogo rasprostraneniya bylin]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya po problemam izucheniya, sokhraneniya i aktualizatsii narodnoy kul'tury russkogo Severa “Ryabininskie chteniya'95”*: Sbornik докладов / Muzei-zapovednik “Kizhi” [International scientific conference on the study, conservation and actualization of North Russia's folk culture “Ryabinin Readings'95”: volume of papers / Kizhi Preserve Museum]. Petrozavodsk, 1997. P. 82–91.
6. I l ' i n M. A. On the integrity of pre-Mongolian Russian architecture [O edinstve domongol'skogo russkogo zodchestva]. *Sovetskaya arheologiya* [Sovetskaya arheologia]. 1968. № 4. P. 88–93.
7. I o a n n i s y a n O. M. Wooden temples of pre-Mongolian Rus [Derevyannye khramy domongol'skoy Rusi]. *Uspenskaya tserkov' v Kondopoge: Sb. statey po materialam konferentsii* [Church of the Assumption in Kondopoga: Proceedings of the Conference]. Kondopoga; St. Petersburg, Gernemevt Publ., 1996. P. 28–35.
8. M a k s i m o v P. N., V o r o n i n N. N. Wooden architecture in the XVI–XVIII centuries [Derevyannoe zodchestvo XIII–XVI vekov]. *Istoriya russkogo iskusstva* [History of Russian art]. Vol. III. Moscow, Edited by the USSR Academy of Sciences, 1955. P. 245–281.
9. M e y e r b e r g A. *Al'bom. Vidy i bytovye kartiny Rossii. XVII v.* [Album. Landscapes and everyday life of Russia. XVII century]. St. Petersburg, 1903. 189 p.
10. M i l l e r V. F. The study of the geographic distribution of bylinas [Nablyudeniya nad geograficheskim rasprostraneniem bylin]. *Zhurnal ministerstva narodnogo prosveshcheniya* [Journal of the Ministry of Public Education]. 1894. № 5. P. 43–77.
11. O r f i n s k i y V. P. Folk wooden cult architecture of North Russia: sources of development [Narodnoe derevyannoe kul'tovoe zodchestvo Rossiyskogo Severa: istoki razvitiya]. *Narodnoe zodchestvo: Sb. nauch. trudov* [Folk architecture: volume of scientific papers]. Petrozavodsk, Edited by Petrozavodsk State University, 1992. P. 32–62.
12. O r f i n s k i y V. P. Mysteries of Sophia's Church of the Holy Wisdom [Zagadki khrama Sofii – Premudrosti Bozhiey]. *Arkhitektura v istorii russkoy kul'tury / Nauchnyy sovet po istoriko-teoreticheskim problemam iskusstvoznaniya OLYa RAN, NIITAG RAASN, Markhi* [Architecture in the history of Russian culture / Academic Board for the Historical and Theoretical aspects of Art Criticism, Section of Linguistics and Literature, RAS, Scientific Research Institute of the Theoretical Architecture and City Planning, RAABS, Moscow Institute of Architecture]. Moscow, 1996. P. 45–48.
13. O r f i n s k i y V. P. On the typology of ethno-cultural contacts in architecture [K voprosu o tipologii etnokul'turnykh kontaktov v sfere arkhitektury]. *Problemy rossiyskoy arkhitekturnoy nauki: Sb. nauchnykh trudov chlenov Otdeleniya arkhitektury RAASN* [Problems in Russian architectural science: Volume of papers by the Members of the Section of Architecture, RAABS]. Moscow, RAABS Publ., 1999. P. 78–94.
14. O r f i n s k i y V. P. Church of the Intercession on the Moat and its analogues. (On the mutual influence of wooden and stone temple building in Rus) [Sobor Pokrova na Rvu i ego analogi. (O vzaimovliyaniyakh derevyannogo i kamennogo khramostroitel'stva na Rusi)]. *Narodnoe zodchestvo: Mezhvuz. sbornik* [Narodnoye zodchestvo: Inter-university volume of papers]. Petrozavodsk, Edited by Petrozavodsk State University, 1999. P. 47–85.

15. Orfinskiy V. P. The Church of the Ascension in Kolomenskoye as a key to the history of the study of Russian temple building [Tserkov' Vozneseniya v Kolomenskom kak klyuchevoe zveno v istorii izucheniya rossiyskogo khramostroitel'stva]. *Arkhitektura v istorii russkoy kul'tury. Vypusk III: Zhelaemoe i deystvitel'noe* [Architecture in the history of Russian culture. Issue III: The desirable and the real]. Moscow, URSS Editorial Publ., 2001. P. 60–78.
16. Orfinskiy V. P., Grishina I. E. *Traditsionnyy karel'skiy dom* [Traditional Karelian house]. Petrozavodsk, Edited by Petrozavodsk State University, 2009. 480 p.
17. *Polnoe sobranie zakonov Rossiyskoy imperii s 1649 g. Obshchee prilozhenie k tomam polnogo sobraniya zakonov. K tomu XI. – 1722, p. 3924a – aprelya 2. S. I* [Complete code of the laws of the Russian Empire since 1649.. General supplement to the Complete Code of Laws volumes. To volume XI.– 1722, p. 3924a – April 2. P. 1]. Vol. 10. St. Petersburg, 1830.
18. *Prichitaniya Severnogo kraya, sobrannye E. V. Barsovm. Ch. II. Plachi zavoennye, rekrutskie i soldatskie* [Lamentations of North Russia, collected by E. V. Barsov. Part II. War, recruiting and soldier weepings]. Moscow, 1882. 335 p.
19. Rybakov B. A. *Yazychestvo Drevney Rusi* [Heathenism of Ancient Rus]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 784 p.
20. Savander K. Yu. On the proportioning of wooden temples with high pyramidal roofs in North Russia [K voprosu o proporsionirovani derevyannykh shatrovykh khramov Rossiyskogo Severa]. *Narodnoe zodchestvo: Mezhvuz. sb.* [Narodnoye zodchestvo. Inter-university volume of papers]. Petrozavodsk, Edited by Petrozavodsk State University, 1999. P. 99–114.
21. Smirnov P. *Istoriya khristianskoy pravoslavnoy tserkvi* [History of Christian orthodox church]. Moscow, Krutitskoye patriarch's church representation, 1994.
22. Tikhomirov M. Poorly-known 16th-century annalistic monuments [Maloizvestnye letopisnye pamyatniki XVI v.]. *Istoricheskie zapiski*. 1941. Vol. X. P. 64–94.
23. Tikhomirov M. Annalistic monuments of the former of the synodal patriarch's assembly [Letopisnye pamyatniki b. Sinodal'nogo patriarshego sobraniya]. *Istoricheskie zapiski*. 1942. Vol. XIII. P. 256–283.
24. Uvarov A. S. On the architecture of the first wooden churches in Rus. [Ob arkhitekture pervykh derevyannykh tserkvey na Rusi]. *Trudy II arkheologicheskogo s'ezda v Sankt-Peterburge. Vyp. I* [Proceedings of the 2nd Archaeological Congress in St. Petersburg. Issue 1]. St. Petersburg, 1876. P. 1–24.
25. Froyanov I. Ya. *Drevnyaya Rus'. Opyt issledovaniya sotsial'noy i politicheskoy bor'by* [Ancient Rus. Study of social and political struggle]. Moscow; St. Petersburg, Zlatoust Publ., 1995.
26. Shvidkovskiy D. O. Emperor's decree and a system of interrelations in Russian and European architecture in the 18th century [Imperatorskiy ukaz i sistema vzaimosvyazey russkoy i evropeyskoy arkhitektury v techenie XVIII stoletiya]. *Zakazchik v istorii russkoy arkhitektury. Arkhiv arkhitektury* [Customer in the history of Russian architecture. Architectural archives. Issue Vol. 2.]. Moscow, 1994. P. 141–148.

Поступила в редакцию 13.08.2014

АЛЕКСЕЙ ЮРЬЕВИЧ БОРИСОВ

преподаватель кафедры архитектуры, строительных конструкций и геотехники Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
borisoff@psu.karelia.ru

ДРЕВЕСИНА ОСИНЫ КАК МАТЕРИАЛ ДЛЯ УСТРОЙСТВА КРОВЛИ*

Анализируются возможности применения древесины осины в кровельных конструкциях. Данное направление ее использования известно давно, однако новые технологии деревообработки и защиты древесины импрегантами, к которым относятся антисептики и антипирены, создают новые недостаточно изученные перспективы применения данного материала в кровлях. Современные кровельные строительные материалы должны отвечать комплексу требований по конструктивной прочности, огнестойкости, сопротивляемости биохимическим воздействиям, ресурсосбережению и экологической безопасности. Выполненный анализ показал, что одной из таких конструкций может стать драночная кровля, основу которой составляет крупноразмерная щепка. Обладая уникальными характеристиками, дранка является незаслуженно забытым материалом, использование которого будет способствовать совершенствованию деревообрабатывающего производства в области заготовки и глубокой переработки древесины осины, рациональному использованию короткомерного материала и других отходов лесопромышленного комплекса.

Ключевые слова: деревянные кровли, дранка, оптимизация технологии устройства деревянных кровель, использование короткомеров, отходы деревообработки

Условия произрастания на влажных и переувлажненных почвах и биологические характеристики древесины осины формируют основные ее свойства как сырья для использования в строительстве и в других целях [8]. Это безъядровая спелодревесная порода, имеющая однородное строение, для которой характерны быстрый рост, увеличение массы, малая сбежистость, повышенная стойкость к воздействию воды [2]. Древесина осины мягкая, легкая, белого цвета, однородная, имеет небольшое количество сучков в массиве, мало подвержена растрескиванию и короблению, технологична в обработке, хорошо поддается пропитке. Из-за невысокой плотности легко лущится и мало нагревается даже при самых высоких температурах. Ввиду условий произрастания осина довольно часто поражается различными болезнями и гнилью.

Малый выход пиломатериала предопределяет низкую рентабельность древесины этой породы. Традиционно осина использовалась в качестве материала для устройства кровель. В настоящее время ее применение в строительстве ограничивается в основном отделкой влажных помещений и производством древесно-стружечных плит. Возможности использования ее в качестве конструкционного кровельного материала подвержены многочисленным сомнениям и не реализуются в полной мере [13].

Существует несколько видов деревянных кровельных конструкций – тес, лемех, гонт, шиндель, дранка. По характеру использования и устройству они очень похожи, поэтому часто возникает путаница и подмена понятий. Тем не менее эти

конструкции различны по месту появления, территории распространения, способу обработки сырья, виду материала и технологии монтажа.

Тес – необрезные доски, получаемые путем продольной распиловки бревна. Длина теса варьируется от 4 до 6,5 м, толщина от 19 до 45 мм, ширина 160–200 мм [4] (рис. 1).

Лемех – небольшие деревянные дощечки, 16–22 см в ширину, изготавливаемые преимущественно из осины, по форме обычно напоминающие лопатку или плоскую уступчатую пирамидку, «городок». Вытесываемый топором, вручную, лемех традиционно применялся в русском деревянном зодчестве для покрытия преимущественно глав церквей, а также барабанов, шатров и других частей здания [4] (рис. 2).

Гонт (польск. gont) – пиленые дощечки клинообразного сечения, соединяемые по принципу «шип – паз» (рис. 3). Благодаря этому при монтаже гонтового покрытия соседние дощечки объединяются в сплошной ряд. Размер гонта в длину 50–60 см при ширине 6–14 см и толщине до 15 мм [5]. Основным материалом для изготовления является древесина твердых пород, таких как дуб или сибирская лиственница, благодаря

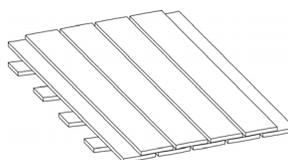


Рис. 1. Схема устройства тесовой кровли

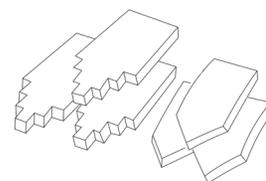


Рис. 2. Лемех

свойствам которых гонт приобретает высокую прочность и устойчивость к биохимическому воздействию окружающей среды. При изготовлении гонта используется сырье только высокого качества, что заметно сказывается на стоимости строительства.

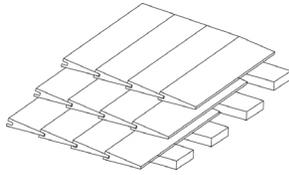


Рис. 3. Схема устройства гонтовой кровли

Шиндель (лат. *scindula* – раскалывать) – «деревянная черепица», представляющая собой небольшие колотые дощечки клинообразной формы, укладываемые внахлест в шахматном порядке. Размеры дощечек: длина 20–80 см, ширина 6–25 см, толщина 7–15 мм. Древесина, применяемая при изготовлении, – дуб, канадский красный кедр, лиственница [5]. Традиционная европейская технология лучше всего представлена в современной Германии. С первыми европейскими поселениями получила широкое распространение в Америке, со временем дала название современной гибкой черепице – шингласу [13] (рис. 4).

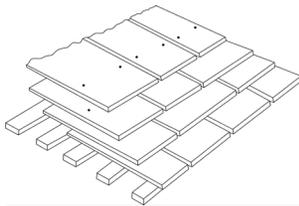


Рис. 4. Схема устройства кровли из шинделя

Дранка по характеру монтажа очень сходна с деревянной черепицей, но представляет собой тонкие дощечки, фактически щепу, шириной 7–12 см, толщиной 3–4 мм, длиной 30–50 см, и поэтому укладывается не в 2–3 слоя, как у шинделя, а в 4–5 слоев. При этом верхние детали на 2/3 закрывают нижележащие (рис. 5). Гидроизоляцию под дранку на обрешетку класть не следует. В этом случае древесина начнет гнить, поскольку будет ограничена вентиляция подкровельного пространства. Изготавливалась дранка, как правило, из осины или древесины хвойных пород и использовалась сразу без какой-либо предварительной сушки [4]. Дощечки необходимых габаритов получали путем раскалывания небольших обрезков ствола.

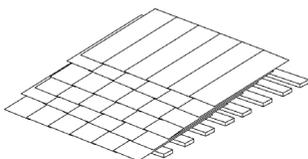


Рис. 5. Схема устройства кровли из дранки

Конструкция драночной (щеповой) кровли в России получила широкое распространение во второй половине XIX века. Относительная простота конструкции и монтажа, небольшой вес и низкая стоимость сырья способствовали повсеместному использованию дранки в качестве кровельного материала для крыш скатных конструкций. При регулярном обслуживании – периодической обработке дегтем с целью улучшения водоотталкивающих свойств, такие крыши могли эксплуатироваться до 25 лет [1].

Свойства древесины осины определили основной принцип ее использования в конструкции кровли – при увлажнении дощечки разбухают, увеличиваясь в размерах, плотно закрывая все возможные щели и трещины. При улучшении температурно-влажностных условий они, высыхая, слегка изгибаются, обеспечивая полное проветривание подкровельного пространства и отвод влаги [9]. В отличие от других деревянных кровельных покрытий дранка быстрее высыхает и лучше вентилируется ввиду своей небольшой толщины, что является, с одной стороны, преимуществом, а с другой – существенным недостатком. Попадание малейшей искры на сухую, хорошо проветриваемую конструкцию из щепок приводило к немедленному ее воспламенению. В 80-х и 90-х XIX века в России наблюдались всплески пожаров, справиться с которыми помог только комплекс мер, направленных на «огнестойкое» строительство. Предписания по использованию огнеупорных материалов в строительстве привели к запрету покрывать крыши дранкой или соломой [11; 160].

На отказ от использования дранки в конструкциях кровель повлиять также ее относительная подверженность биохимическому разрушению. К последнему в большинстве случаев приводило применение гвоздей в качестве основных монтажных элементов крепления кровельного материала. Из-за перепада температуры и изменения влажности древесина периодически расширяется, отверстие от забитого гвоздя увеличивается в размере, а на поверхности металла образуется конденсат. В итоге сталь подвергалась коррозии, место соприкосновения с деревом загнивало, что впоследствии приводило к разрушению кровли.

В начале 1930-х годов предпринимались попытки по модернизации технологии использования дранки в качестве кровельного материала. Предложен и запатентован ряд технических решений. Одно из них было направлено на изменение угла укладки штучных элементов относительно друг друга по рядам, что, по мнению автора, увеличивало срок службы кровли (см.: Михайлов И. М. Авторское свидетельство на изобретение № 42288, 1935 г.). Второе относилось к решению вопросов индустриализации изготовления элементов кровли путем сколачивания дранки в щитовые конструкции на основе карка-

са из деревянных брусков (см.: Жидков Л. Ф. Авторское свидетельство на изобретение № 25250, 1932 г.). В этот же временной период была предложена конструкция станка для заготовки дранки, заменяющего традиционное «махало» (см.: Вавилов С. А. Авторское свидетельство № 68634, 1947 г.). Но все эти нововведения не устраняли основных упомянутых недостатков деревянной кровли. А с появлением новых кровельных материалов и развитием технологий их производства использование дранки практически прекратилось.

В настоящее время в кровлях рассматриваемого класса наибольшее распространение получила деревянная черепица (шиндель), несмотря на высокую стоимость, которая достигается вследствие уникальности и большой трудоемкости работ по подготовке штучного материала, а также по причине использования для производства ценных пород древесины – кедра, сибирской лиственницы. В Канаде и США, Германии и Австрии кровли из дерева – обычное явление на крышах частных домов и даже общественных объектов. В России случаи использования деревянной черепицы редки. Заказчиками зачастую выступают состоятельные люди, стремящиеся к экологической безопасности своего жилья и желающие подчеркнуть индивидуальность постройки [13]. Наиболее яркими примерами общественных построек последнего времени с использованием деревянной черепицы могут служить гольф-клуб «Сколково» и офис интернет-компании «Яндекс» [12]. Архитектурная выразительность, соответствие современным экологическим требованиям и функциональность создают основания для применения деревянных типов кровель в объектах инфраструктуры туризма [7].

Недорогую и простую в устройстве дранку в настоящее время можно встретить лишь в глухих деревнях или музеях деревянного зодчества.

Применение новых композитных материалов увеличивает возможности строителей, однако, как показывает практика, они не способны полностью заменить древесину как кровельный материал [12]. Конкуренентоспособность деревянных кровель может быть повышена в случае применения современных технологий изготовления, монтажа и предварительной обработки кровельных материалов из древесины. Так, для фиксации элементов используются оцинкованные гвозди или скобы, устанавливаемые с помощью пневмостеплера. Слой цинка на стальных элементах фиксации препятствует загниванию

древесины, увеличивая срок ее эксплуатации. Существующие нетоксичные и экологически безопасные импрегнаты позволяют поддерживать желаемый цветовой оттенок кровли, защищать древесину от возгорания, гниения и воздействия насекомых на длительный срок. Доступный комплекс мер может увеличить срок ее службы до ста лет и более [9]. Кроме того, основным сырьем для изготовления драночной кровли, подвергающимся дальнейшему раскалыванию на станке, являются короткомерные остатки ствола дерева длиной от 40 до 100 см. В большинстве случаев при изготовлении пиломатериалов такие элементы отбраковываются. Воссоздание и модернизация технологии драночных кровель может в существенной мере расширить возможности использования древесины осины.

Таким образом, становится возможным создание конструкции, обладающей экологичностью, относительной долговечностью и устойчивостью к агрессивному воздействию окружающей среды, морозоустойчивостью, отсутствием конденсата в подкровельном пространстве, высокой шумо- и теплоизоляцией, небольшой стоимостью и высокой ремонтпригодностью.

В данной связи представляется актуальным проведение дополнительного исследования по оптимизации технологии применения дранки в качестве кровельного материала, направленного на решение задач по определению наиболее рациональной формы и размеров поперечного сечения отдельных элементов, способов их крепления, обработке антисептирующими составами и антипиренами, совершенствованию технологии применения древесины осины как кровельного материала.

Решение данных вопросов будет способствовать совершенствованию деревообрабатывающего производства в области заготовки и глубокой переработки древесины осины, рациональному использованию короткомерного материала и других отходов лесопромышленного комплекса [3] с учетом экономических условий [6]. Тем самым будут созданы новые возможности, реализация которых позволит дополнить региональный рынок современным материалом для малоэтажного домостроения, отвечающим требованиям экологичности и ресурсосбережения, основным преимуществом которого по отношению к другим (рулонные материалы, металлочерепица, гибкая черепица, ондулин и т. д.) будут относительно небольшие затраты на производство при сопоставимых эксплуатационных характеристиках [10]

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брокгауз Ф. А., Эфрон И. А. Энциклопедический словарь. Т. XI. СПб., 1983. С. 102–103.
2. Бурмистрова О. Н. Строение дерева и древесины: Метод. указания. Ухта: УГТУ, 2007. 50 с.
3. Васильев С. Б., Девятникова Л. А., Колесников Г. Н., Симонова И. В. Технологические решения для реализации потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу. Петрозаводск, 2013. 92 с.
4. Вахрамеева Т. И. Методические рекомендации. Приемы реставрации памятников деревянного зодчества. Раздел 1. Деревянные кровли. Петрозаводск, 2013. 48 с.

5. Жван В. Д., Семенихина В. П., Жван В. В., Шутенко А. Л. Кровельные и гидроизоляционные работы: Учеб. пособие. Харьков, ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2013. 277 с.
6. Колесников Н. Г. Оценка социально-экономической эффективности субсидирования производства на периферийных территориях // Актуальные вопросы экономических наук. 2014. № 36. С. 50–56.
7. Колесников Н. Г., Петрова Н. В., Шевченко В. И. Объекты инфраструктуры туризма как элементы туристских дестинаций // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9–3. С. 173–174.
8. Панов Н. Г. Применение низкосортной осины для производства древесно-стружечных плит с использованием нанопорошка шунгита: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2012. 21 с.
9. Природные кровли // Эволюция кровли. 2004. № 1. С. 82–83.
10. Ченхотьян Е. В. Организация производства по выпуску кровельной доски // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Сб. ст. студентов, аспирантов и молодых ученых по итогам Всероссийской научно-практ. конф., посвящ. 80-летию Сибирского государственного технологического университета (13–14 мая 2010 г.). Т. 3. Красноярск, 2010. С. 110–113.
11. Чернык В. В. История пожарного дела России (1800–1990-е гг.): Учеб. пособие. Ч. 2. Иркутск: ВСИ МВД России, 2005. 220 с.
12. Деревянная кровля. Гольф-клуб SKOLKOVO [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://holzschindeln.ru/nashi-proekty/item/198-skolkovo-2014.html>
13. Мода на традиции. Крыша из дерева на рынке элитных кровель [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.krovlirossia.ru/rubriki/materialy-i-tekhnologii/moda-na-tradicii-krysha-iz-dereva-na-rynke-elitnykh-krovel>

Borisov A. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ASPEN WOOD AS ROOF CONSTRUCTION MATERIAL

The analysis of using aspen wood in roof structures is presented in the article. Employment of aspen in construction is well-known, but new technologies of woodworking and wood protection with impregnants, which include antiseptics and flame-retardants, create new prospects of studying the use of this material in roof construction. Contemporary roofing materials should meet a whole complex of quality requirements inclusive of structural strength, fire resistance, resistance to biochemical effects, resource conservation, and environmental safety. The completed analysis showed that a shingle roof with large size chips could be one of these structures. The shingle with its unique properties is an unjustly forgotten material, and its use will contribute to the improvement of the woodworking industry in the sphere of production and deep processing of aspen wood, to the rational use of short materials and other wastes of timber industry.

Key words: wooden roof, shingles, optimization of wooden roofs' building technology, wood waste

REFERENCES

1. Brokgauz F. A., Efron I. A. *Entsiklopedicheskiy slovar'* [Encyclopedic Dictionary]. St. Petersburg, 1983. Vol. XI. P. 102–103.
2. Burmistrova O. N. *Stroenie dereva i drevesiny: Metod. ukazaniya* [The structure of wood and timber: methodic instructions]. Uhta, UGTU Publ., 2007. 50 p.
3. Vasil'ev S. B., Devyatnikova L. A., Kolesnikov G. N., Simonova I. V. *Tekhnologicheskie resheniya dlya realizatsii potentsiala resursoberezheniya pri pererabotke kruglykh lesomaterialov na shchepu* [Technological solutions for the realization of potential resources in the processing of round timber to chips]. Petrozavodsk, 2013. 92 p.
4. Vakhrameeva T. I. *Metodicheskie rekomendatsii. Priemy restavratsii pamyatnikov derevyannogo zochestva. Razdel 1. Derevyannye krovl'i* [The Methodic recommendations. Ways of restoration of monuments of wooden architecture. Section 1. The wooden roof]. Petrozavodsk, 2013. 48 p.
5. Zhvan V. D., Semeniikhina V. P., Zhvan V. V., Shutenko A. L. *Krovel'nye i gidroizolyatsionnye raboty: Ucheb. posobie* [Roofing and waterproofing: Tutorial]. Kharkov, HNUGH im. A. N. Beketova Publ., 2013. 277 p.
6. Kolesnikov N. G. The assessment of socio-economic benefits of subsidizing production in distant areas [Otsenka sotsial'no-ekonomicheskoy effektivnosti subsidirovaniya proizvodstva na periferiynykh territoriyakh]. *Aktual'nye voprosy ekonomicheskikh nauk* [Topical Issues of Economic Science]. 2014. № 36. P. 50–56.
7. Kolesnikov N. G., Petrova N. V., Shevchenko V. I. The objects of tourism infrastructure as elements of tourists' destinations [Ob'ekty infrastruktury turizma kak elementy turistikh destinatsiy]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [The International Journal of applied and fundamental researches]. 2014. № 9–3. P. 173–174.
8. Panov N. G. *Primenenie nizkosortnoy osiny dlya proizvodstva drevesno-struzhechnykh plit s ispol'zovaniem nanoporoshka shungita: Avtoref. Diss. ... kand. tekhn. nauk* [The use of low-grade aspen for the production of chipboards using a nanopowder of the shungit]. Petrozavodsk, 2012. 21 p.
9. The natural roofs [Prirodnye krovl'i]. *Evolutsiya krovl'i*. 2004. № 1. P. 82–83.
10. Chenchot'yan E. V. Organization of roofing boards' production [Organizatsiya proizvodstva po vypusku krovel'noy doshchechki]. *Molodye uchentye v reshenii aktual'nykh problem nauki: Sbornik statey studentov, aspirantov i molodykh uchennykh po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu Sibirskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta (13–14 maya 2010 g.)* [Young scientists in solving actual problems of science. The articles of students and young scientists of the All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 80th anniversary of the Siberian State Technological University (13–14 May 2010)]. Vol. 3. Krasnoyarsk, 2010. P. 110–113.
11. Chernykh V. V. *Istoriya pozhnogo dela Rossii (1800–1990-e gg.): Uchebnoe posobie* [The history of firefighting in Russia 1800–1900]. Ch. 2. Irkutsk, VSI MVD Rossii Publ., 2005. 220 p.
12. *Derevyannaya krovl'ya. Gol'f-klub SKOLKOVO* [The wooden roof of golf club Skolkovo]. Available at: <http://holzschindeln.ru/nashi-proekty/item/198-skolkovo-2014.html>
13. *Moda na traditsii. Krysha iz dereva na rynke elitnykh krovel' [???]*. Available at: <http://www.krovlirossia.ru/rubriki/materialy-i-tekhnologii/moda-na-tradicii-krysha-iz-dereva-na-rynke-elitnykh-krovel>

Поступила в редакцию 21.10.2014

ИВАН ИВАНОВИЧ ТИХОНОВ

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

ТАТЬЯНА ВИКТОРОВНА ЯКУШЕВА

ассистент кафедры сухопутного транспорта леса лесоинженерного факультета, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
ytvles@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ С ПОСТОЯНСТВОМ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ СХЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЛЕСОСЕК

В соответствии с действующим законодательством арендатор участков лесного фонда осуществляет, помимо пользования лесом, комплекс лесохозяйственных работ. В связи с этим возникла необходимость оптимизации систем машин и процессов выполнения лесовосстановления, ухода за лесом, противопожарных мероприятий, а также дорожных работ. Существующие механизмы выполняют зачастую отдельные виды работ, предусмотренные проектом освоения лесного участка. В целях повышения эффективности лесохозяйственных работ предлагается полноповоротная машина с манипулятором и сменными насадками. Данный механизм позволяет проводить комплекс лесозаготовительных работ выборочными и сплошными рубками, а также мероприятия по строительству и реконструкции лесной дорожной сети, лесовосстановлению, уходу за лесом. Наличие постоянных дорожно-транспортных схем освоения лесосек и соответствующих им лесозаготовительных машин позволит лесопользователям более эффективно использовать возможности арендуемых лесных участков, учитывая при этом необходимые с точки зрения лесохозяйственных требований ограничения. Проектируемая машина должна обеспечивать максимальную производительность и в то же время экологичность проводимых операций.

Ключевые слова: лесосеки, лесовосстановление, лесозаготовительные процессы, лесопользователи, уход за лесом

Согласно действующему Лесному кодексу РФ, вопросами дорожно-транспортного освоения лесосек, лесозаготовкой и лесовосстановлением должны заниматься лесопользователи – арендаторы участков лесного фонда – согласно утвержденным проектам освоения лесов. В настоящей статье предпринята попытка увязать вопросы лесной транспортной инфраструктуры, лесозаготовительные процессы и лесовосстановительные работы с целью минимизации общих затрат при осуществлении данных мероприятий. В случаях, когда на лесосеках проводятся сплошные рубки, зачастую без сохранения подростка, способы лесовосстановления, согласно действующим отраслевым нормативно-правовым документам, могут быть следующими: искусственное (посадка сеянцев, саженцев, посев семян), естественное (подготовка почвы, оставление плюсовых семенных деревьев и куртин), комбинированное (включающее элементы предыдущих видов лесовосстановления).

Способ осуществления лесовосстановительных мероприятий определяется документами лесного планирования (лесным планом субъекта Федерации, лесохозяйственным регламентом лесничества, проектом освоения лесов участка лесного фонда).

В процессе подготовки лесосек целесообразно наметить будущие пасеки, пасечные волокна, магистральные волокна и площадку под верхний склад. Важно подготовить пасечные волокна для их использования, в том числе для проведения лесовосстановительных работ, рубок ухода, заготовки древесины, санитарных рубок, противопожарных мероприятий.

Чтобы площадь пасечных, магистральных волоков не превышала 15 % площади лесосек, при выборочных рубках необходимо, чтобы ширина пасеки H была больше ширины волокна b в 6,7 раза. Минимальная ширина волокна ограничивается шириной машины h и метровым запасом, который необходим для предохранения корневых систем деревьев, расположенных рядом с волоком, от перегрузок [1], [9]:

$$b = h + 1. \quad (1)$$

При применении лесных машин на базе полноповоротных экскаваторных машин типа ВПМ, имеющих манипулятор с R-вылетом, соотношение ширины пасеки, равной $2R$, к ширине волокна должно быть не менее 6,7, то есть [2]

$$\frac{2R}{h + 1} \geq 6,7. \quad (2)$$

Следовательно, вылет манипулятора должен быть не менее величины:

$$R \geq \frac{(h+1) \cdot 6,7}{2} \geq 3,35 \cdot (h+1). \quad (3)$$

Например, для ВПМ типа ЛП-19, у которой $h = 3,15$ м, вылет манипулятора должен иметь величину $R \geq 3,35 \cdot (3,15 + 1) = 13,9$ м.

Машины с таким вылетом манипулятора должны иметь противовес, регулируемый для обеспечения устойчивости машины и уменьшения ее массы [2], [5]. Манипуляторы таких машин целесообразно оснащать съемными устройствами: ковшом для сооружения лесных транспортных путей, лункообразователем и кассетами с посадочным материалом, захватно-рубительным устройством, захватно-делительным устройством.

Основой повышения производительности труда в лесном хозяйстве и лесной промышленности является комплексная механизация всех трудоемких технологических процессов. Современные системы машин должны обеспечивать максимальную производительность и в то же время экологическую эффективность проводимых операций [3], [10]. Модернизация лесной техники является при этом одной из приоритетных отраслевых задач [8].

Государственной программой развития лесного хозяйства до 2020 года особое внимание уделяется возобновлению вырубаемых площадей. В связи с этим предусматривается разработка интенсивных технологий искусственного лесовосстановления на базе комплексной механизации работ путем создания лесных культур на вырубках по эколого-ресурсосберегающим технологиям. Разработанные ранее технологии лесовосстановления не в полной мере отвечают требованиям устойчивого неистощительного управления лесами в условиях рыночной экономики, в значительной степени они базируются на использовании тракторов и лесохозяйственных агрегатов устаревших модификаций, которые характеризуются значительными трудозатратами и не обеспечивают в должной степени постоянство функционирования дорожно-транспортной сети [4]. В настоящее время лесовосстановительные мероприятия регламентируются Приказом МПР РФ от 05.11.2013 № 479 «О внесении изменений в Приказ Рослесхоза». По данным Рослесхоза, план по лесовосстановлению в 2013 году в РФ был перевыполнен: в общей сложности лесовосстановление проведено на площади 854 347 га (103,2 % от плана), в том числе создание лесных культур – на площади 184 тыс. га. На долю арендаторов приходится более 70 % работ – на площади 610 тыс. га.

Объемы лесовосстановления содержатся в утверждаемых проектах освоения лесов. Лесовосстановительные мероприятия на каждом лес-

ном участке, предназначенном для проведения лесовосстановления, осуществляются в соответствии с проектом лесовосстановления (См.: Правила лесовосстановления, утвержденные приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 5 ноября 2013 г. № 479). Проект лесовосстановления должен содержать:

- характеристику и расположение лесного участка (наименование лесничества), участка лесничества, номер квартала, номер выдела, площадь лесного участка;
- характеристику природно-климатических условий лесного участка;
- характеристику вырубki (количество пней на единице площади, состояние очистки от порубочных остатков и валежной древесины, характер и размещение оставленных деревьев и кустарников, степень задернения и минерализации почвы и др.);
- характеристику имеющегося подростa лесных древесных пород (породный состав, средний возраст, средняя высота, количество деревьев и кустарников на единице площади, размещение их на площади лесного участка, состояние лесных насаждений и др.);
- обоснование проектируемого способа лесовосстановления, а также породного состава восстанавливаемых лесов;
- сроки, способы, технологии выполнения работ по лесовосстановлению;
- показатели восстанавливаемых лесов для оценки работ по лесовосстановлению (возраст, состав пород, средняя высота и др.).

Уход за лесами осуществляется в целях повышения продуктивности лесов и сохранения их полезных функций путем вырубki части деревьев и кустарников, проведения агролесомелиоративных и иных мероприятий и должен осуществляться в соответствии с лесным планом субъекта РФ, лесохозяйственным регламентом лесничества (лесопарка), а также проектом освоения лесов. Уход за лесами представляет собой осуществление мероприятий, направленных на повышение продуктивности лесов, сохранение их полезных функций (вырубka части деревьев, кустарников, агролесомелиоративные и иные мероприятия). Уход за лесами производится лицами, использующими леса на основании проекта освоения лесов. Рубка леса при заготовке древесины населением для собственных нужд, проводимая в порядке ухода за лесом, осуществляется в соответствии с проектом рубок ухода, технологической картой разработки лесосек и обязательным клеймлением растущих деревьев, подлежащих вырубке. В период действия лесохозяйственного регламента лесничества уход за лесами должен производиться в соответствии с «Правилами ухода за лесами», утвержденными приказом МПР России от 16.07.2007 № 185.

В зависимости от возраста лесных насаждений и целей ухода осуществляются следующие виды рубок ухода за лесами:

- осветления, направленные на улучшение породного и качественного состава молодняков и условий роста деревьев главной древесной породы;
- прочистки, направленные на регулирование густоты лесных насаждений и улучшение условий роста деревьев главной древесной породы, а также на продолжение формирования породного и качественного состава лесных насаждений;
- прореживания, направленные на создание благоприятных условий для правильного формирования ствола и кроны деревьев;
- проходные рубки, направленные на создание благоприятных условий для увеличения прироста деревьев;
- формирования ландшафта, направленные на формирование лесопарковых ландшафтов и повышение их эстетической, оздоровительной ценности и устойчивости.

Уход за лесами путем проведения агролесомелиоративных мероприятий заключается в создании на лесных участках защитных лесных насаждений, обеспечивающих повышение противоэрозионных, водорегулирующих, санитарно-гигиенических и иных полезных функций лесов. К иным мероприятиям по уходу за лесами относятся: реконструкция малоценных лесных насаждений (включая рубки реконструкции), уход за плодоношением древесных пород (в частности кедра), обрезка сучьев деревьев, удобрение лесов, уход за опушками, уход за подлеском, уход за лесами путем уничтожения нежелательной древесной растительности и другие мероприятия.

Согласно Наставлениям по рубкам ухода (1993), для проведения рубок ухода с применением транспортных (трелевочных) машин и погрузочных средств осуществляется технологическая организация территории участков леса (или технологическое устройство) путем проектирования и создания постоянной технологической сети, основой которой является система технологических коридоров (волоков) согласно представленным выше зависимостям и погрузочных пунктов. Технологическая сеть участка леса создается с учетом целевого назначения лесов и по возможности вписывается в существующую дорожную сеть, дополняя ее недостающими элементами. Для соответствующих видов рубок ухода должны использоваться машины, габариты которых по ширине не менее чем на 1 м меньше ширины коридора. При работе машин от внешнего края движителя до стволов ближайших деревьев, ограничивающих коридор, должно быть не менее 0,4–0,5 м.

Погрузочные пункты располагаются по возможности у дорог и квартальных просек на по-

лянах, прогалинах и других не покрытых лесом землях. При этом погрузочные пункты необходимо располагать таким образом, чтобы они дополняли уже существующие в пределах квартала или блока кварталов и могли использоваться при необходимости проведения рубок на соседних участках. Величина погрузочного пункта – не более 0,2 га, общая их площадь на участках до 8 га – не более 0,2 га, на участках 9–15 га – не более 0,3 га, на участках свыше 15 га и при поквартальной организации работ – не более 2 % от общей площади. Количество погрузочных пунктов намечается из расчета 1 на площадь в среднем 8–11 га.

На рубках ухода используются в основном технологии на базе машин, передвигающихся только в технологических коридорах, развороты их допускаются в местах, где рядом с волоками нет оставляемых деревьев и подроста. В соответствии с величинами H , R , b производится разметка лесосеки еще на стадии подготовки волоков, а затем их использования: при посеве и посадке будущих древостоев; при осветлении; при прореживании; при рубке лесных насаждений для заготовки древесины.

Передовые лесопользователи, в настоящее время и в обозримом будущем это крупные вертикально-интегрированные структуры, планируют эффективное освоение арендной базы с учетом постоянства и непрерывности эксплуатации дорожно-транспортной сети, затрачивая на эту работу несколько больше на первоначальном этапе подготовки лесных дорог (в том числе веток, усов, волоков, погрузочных площадок). Таким образом, создаваемые как лесозовные, лесные дороги используются для осуществления лесовосстановительных и лесозащитных мероприятий, особенно в пожароопасные сезоны и при создании лесных культур.

Базой основной машины, выполняющей комплекс работ (рис. 1–3) должна являться полноприводная машина с манипулятором и сменными насадками – ковшом, фрезой или лункообразователем, посадочно-посевным устройством, срезающе-рубительной головкой, срезающе-раскряжевочной головкой, срезающе-накопительной головкой и срезающе-делительной головкой [6].

Для уменьшения массы машины требуется перемещающийся противовес, автоматически уравнивающий нагрузку на манипулятор [2], [5].

Для осветлений и прореживаний применимо технологическое оснащение базовой машины срезающе-рубительной головкой, а также системой подачи щепы в прицепной или навесной бункер [7]. Щепа, получаемая в процессе рубок ухода, содержит не только древесину, но и кору, зелень кроны и применима в основном в качестве топливной, но возможно рассмотреть ее использование в плитном производстве, в производстве картона, небеленой целлюлозы.

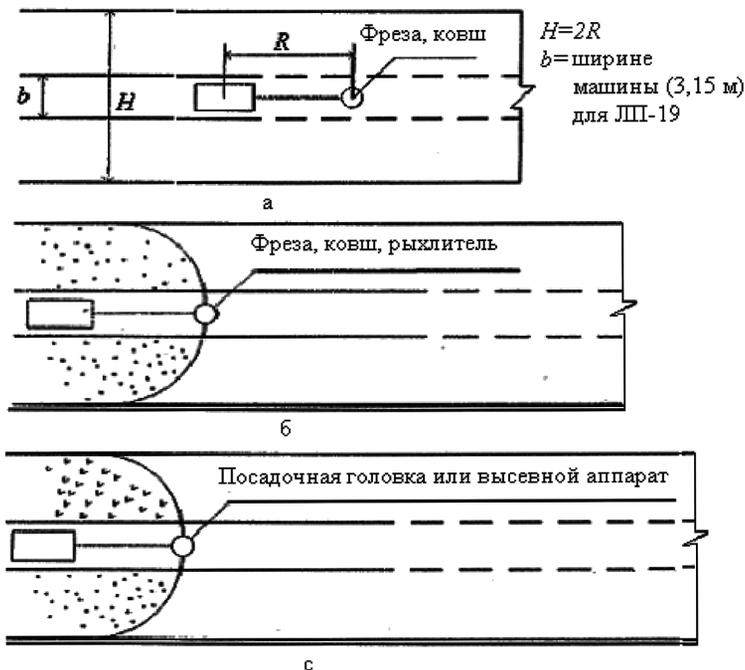


Рис. 1. Подготовка почвы (а, б), посадка или посев (в)

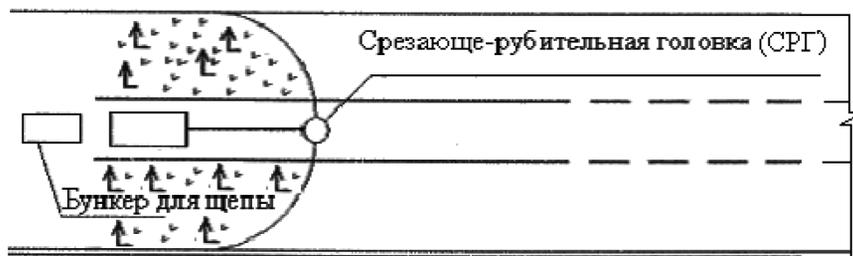


Рис. 2. Осветления и прореживания

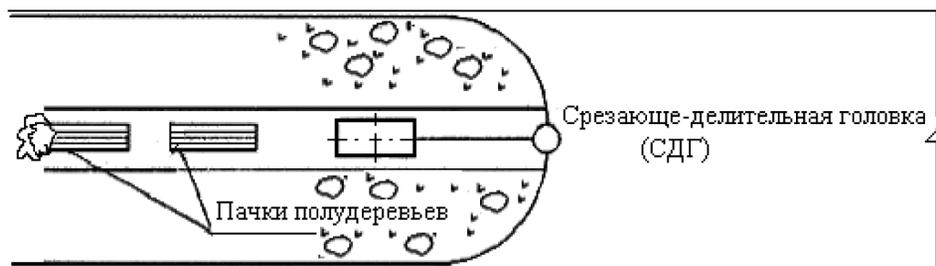


Рис. 3. Рубки первого и второго приемов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев И. В., Макуев В. А., Былев А. Б., Хахина А. М., Григорьева О. И., Калинин С. Ю. Оценка уплотнения почвогрунта при ударных воздействиях на расстоянии от места удара // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2014. № 2. С. 30–35.
2. Григорьев И. В., Тихонов И. И., Никифорова А. И., Григорьева О. И. Совершенствование конструкции валочно-пакетирующей машины // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 2 (203). С. 57–60.
3. Григорьев И. В., Хитров Е. Г., Никифорова А. И., Григорьева О. И., Куницкая О. А. Определение энергоёмкости продуктов лесопользования в рамках методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестник Тамбовского университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 5. С. 1499–1502.
4. Григорьев И. В., Тихонов И. И., Никифорова А. И., Григорьева О. И. Устройства для контроля за весом груза на сухопутном лесовозном транспорте // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 6 (207). С. 53–56.
5. Тихонов И. И., Григорьев И. В., Семенов С. К., Никифорова А. И., Григорьева О. И., Киселев Д. С. Валочно-пакетирующая машина. Патент на полезную модель № 116013. Оpubл. 20.05.2012.

6. Тихонов И. И. Заготовка древесины полудеревьями. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 108 с.
7. Тихонов И. И., Григорьев И. В., Якушева Т. В. Срезающе-рубильно-трелевочная машина. Патент на полезную модель № 142763. Опубл. 10.07.2014.
8. Тюрин Н. А., Григорьев И. В., Григорьева О. И. Проблемы подготовки специалистов лесозаготовительного производства для устойчивого лесопользования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сб. науч. тр. по материалам междунар. заочной научно-практ. конф. 25–27 марта 2014 г. № 2. Ч. 3 (7–3). Воронеж: ВГЛТА, 2014. С. 363–367.
9. Шапиро В. Я., Григорьев И. В., Лепилин Д. В., Жукова А. И. Моделирование уплотнения почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2010. № 6 (111). С. 61–64.
10. Grigoriev I., Khitrov E., Ivanov V., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems: Conference proceedings. Bulgaria, 2014. Vol. 2. P. 407–414.

Tikhonov I. I., St. Petersburg State Forest Technical University (St. Petersburg, Russian Federation)
Yakusheva T. V., St. Petersburg State Forest Technical University (St. Petersburg, Russian Federation)

FOREST MANAGEMENT TECHNOLOGY WITH THE CONSTANT TRAFFIC AND TRANSPORT ROADPATTERN

According to the current legislation, the landholder of the forest land plots, besides the forest utilization, performs a set of forestry activities. In this regard, there was a need to improve systems of machines and measures for forest restoration, forest tending, fire-safety, as well as for roadway maintenance works. The existing measures are usually used for particular types of works, provided by the project of the site utilization. To increase the efficiency of forestry works, a full-circle machine with a grapple and replaceable nozzles is being introduced. This mechanism allows to perform a set of forestry works such as selective and clear felling, as well as to perform construction and reconstruction of a forest road network, forest restoration, and forest tending. The availability of constant traffic and transport roadpatterns and corresponding timber harvesting machines will allow forest users to more effectively use the capabilities of the rented forest plots, considering necessary, from the point of view of silvicultural requirements, restriction as well. The designed machine shall achieve maximum productivity and sustainability of the performed operations at the same time.

Key words: harvest sites, forest restoration, forest harvesting, forest users, forest tending

REFERENCES

1. Grigor'ev I. V., Makuev V. A., Bylev A. B., Khakhina A. M., Grigor'eva O. I., Kalinin S. Yu. Evaluation of soil consolidation under shock impact on the distance from the impact point [Otsenka uplotneniya pochvogrunta pri udarnykh vozdystviyakh na rasstoyanii ot mesta udara]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa. Lesnoy vestnik* [Bulletin of Moscow state University-theta forest Forest Bulletin]. 2014. № 2. P. 30–35.
2. Grigor'ev I. V., Tikhonov I. I., Nikiforova A. I., Grigor'eva O. I. Improvement of the felling-and-bunching machine [Sovershenstvovanie konstruktsii valочно-paketiruyushchey mashiny]. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem* [Handbook. Engineering magazine with an app.]. 2014. № 2 (203). P. 57–60.
3. Grigor'ev I. V., Khitrov E. G., Nikiforova A. I., Grigor'eva O. I., Kunitskaya O. A. The definition of energy products forestry in the context of the methodology for assessing the environmental performance of forest management [Opredelenie energoemkosti produktov lesopol'zovaniya v ramkakh metodiki otsenki ekologicheskoy effektivnosti lesopol'zovaniya]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences]. 2014. № 5. P. 1499–1502.
4. Grigor'ev I. V., Tikhonov I. I., Nikiforova A. I., Grigor'eva O. I. Device for monitoring the weight of the cargo on land-timber-transport [Ustroystva dlya kontrolya za vesom gruzha na sukhoputnom lesovoznom transporte]. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal s prilozheniem* [Directory. Engineering journal app.]. 2014. № 6 (207). P. 53–56.
5. Tikhonov I. I., Grigor'ev I. V., Semenov S. K., Nikiforova A. I., Grigor'eva O. I., Kiselev D. S. *Valочно-paketiruyushchaya mashina. Patent na poleznuyu mo-del' № 116013, opubl. 20.05.2012* [Feller-Bunchers machine. Patent for useful mo del no 116013 publ. 20.05.2012].
6. Tikhonov I. I. *Zagotovka drevesiny poluderev'yami* [Harvesting paludarium]. St. Petersburg, SPbGLTU Publ., 2013. 108 p.
7. Tikhonov I. I., Grigor'ev I. V., Yakusheva T. V. *Sreza'yushche-rubitel'no-trelevochnaya mashina. Patent na poleznuyu model' № 142763, opubl. 10.07.2014* [Criseyde-chipping-skidding machine. Patent for useful model № 142763 publ. 10.07.2014].
8. Tyurin N. A., Grigor'ev I. V., Grigor'eva O. I. Problems of training SPE-specialists timber production for sustainable forest management, Current research directions of the XXI century: theory and practice. [Problemy podgotovki spetsialistov lesozagotovitel'nogo proizvodstva dlya ustoychivogo lesopol'zovaniya]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: Sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy zaочноy nauchno-prakticheskoy konferentsii 25–27 marta 2014 g. [Proceedings of the proceedings of the international correspondence scientific-practical conference 25–27 March, 2014]. Voronezh, VGLTA Publ., 2014. № 2. Part 3 (7–3). P. 363–367.
9. Shapiro V. Ya., Grigor'ev I. V., Lepilin D. V., Zhukova A. I. simulation of the compaction of soil in the side bands of the skidding track with regard to change-stability of the track movement // [Modelirovanie uplotneniya pochvogrunta v bokovykh polosakh trelevochnogo voloka s uchetom izmenchivosti trassy dvizheniya]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences.]. 2010. № 6 (111). P. 61–64.
10. Grigoriev I., Khitrov E., Ivanov V., Kalistratov A., Bozhbov V. New approach for forest production stocktaking based on energy cost // 14th SGEM geoconference on water resources. Forest, marine and ocean ecosystems: Conference proceedings. Bulgaria, 2014. Vol. 2. P. 407–414.

Поступила в редакцию 02.06.2014

ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ ЖУРКИНаспирант кафедры физики твердого тела физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
zhurkin_dm@mail.ru**АЛЕКСАНДР ЛЬВОВИЧ РАБИНОВИЧ**доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
rabinov@krc.karelia.ru

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ГИБКОСТИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МОЛЕКУЛ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО*

Одна из главных задач физики конденсированного состояния – изучение взаимосвязей между химическим строением и физическими свойствами разных молекул. Углеводородные цепные молекулы играют важную роль в природных системах, широко используются в областях технологии. В настоящей работе методом Монте-Карло проведено моделирование 65 цепных углеводородных молекул вида $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_a-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_d-(\text{CH}_2)_b-\text{CH}_3$ (где a, b, d – целые). Изучены варианты $N = 16, 18, 20, 22$ (где $N = a + b + 3d + 2$ – количество атомов углерода), $d = 0, 1, \dots, 6$ – количество двойных связей (конфигурация *cis*-); температура $T = 293, 303$ и 313 К. Все исследованные молекулы рассматривали в невозмущенном состоянии, генерирование значений торсионных углов осуществляли методом существенной выборки в диапазоне $0-360^\circ$ и учетом взаимозависимости каждых трех из них вдоль по цепи. В итоге моделирования для каждой молекулы вычислены равновесная гибкость, конформационная теплоемкость, относительные флуктуации квадрата радиуса инерции и квадрата расстояния между концевыми атомами углерода. Проанализированы зависимости этих свойств от параметров строения молекул. Обнаружен ряд закономерностей, в том числе корреляция между величиной гибкости и относительными флуктуациями геометрических размеров молекул. Предложена интерпретация полученных зависимостей на основе данных эксперимента о характеристиках внутреннего вращения в цепях данного вида. Полученные данные способствуют углублению общего понимания взаимосвязей между структурой и свойствами рассмотренных молекул.

Ключевые слова: ненасыщенные углеводороды, метод Монте-Карло, равновесная гибкость, флуктуации, конформационная теплоемкость

ВВЕДЕНИЕ

Одной из фундаментальных проблем физики конденсированного состояния является установление взаимосвязей между химическим строением и физическими свойствами разных молекул и молекулярных систем в различных условиях. Компонентами таких систем часто выступают молекулы цепного строения [6]. Типичный пример – углеводородные цепные молекулы. Информация об их физических и химических свойствах важна не только с научной точки зрения, но и для развития разных технологических отраслей, причем обе задачи тесно связаны между собой. А именно, обсуждаемые данные нужны для углубления знаний о структуре и функциях биологических систем, так как углеводородные цепи входят в состав молекул фосфолипидов мембран [1], [16]. С другой стороны, существование последних основано на эффектах самоорганизации, а принцип самоорганизации является одним из базовых принципов современных нанотехнологий. Несмотря на острую необходимость в данных по свойствам многих систем, они подчас скудны или

отсутствуют в литературе. В настоящей работе методом Монте-Карло (МК), алгоритм которого был разработан ранее [5], при температурах $T = 293, 303, 313$ К проведено моделирование 65 углеводородных цепных молекул с двойными связями *cis*, вида $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_a-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_d-(\text{CH}_2)_b-\text{CH}_3$ (где a, b, d – целые), в невозмущенном состоянии (в Θ -условиях [6]), с количеством N атомов углерода (где $N = a + b + 3d + 2$), равным 16, 18, 20, 22, и количеством двойных связей $d = 0, 1, 2, \dots, 6$. В работе [3] при моделировании перечисленных выше молекул этим методом были исследованы характеристики их формы, а в настоящей работе изучены равновесная гибкость, конформационная теплоемкость, относительные флуктуации квадрата радиуса инерции и квадрата расстояния между концевыми атомами углевода молекул.

Модель цепной молекулы и расчет средних характеристик

« Θ -условия», при которых вычисляли свойства всех молекул, примерно отвечают условиям

в жидком или аморфном состояниях вещества [6], [10], [22]. Основные этапы расчета состояли в следующем (математические основы модели и алгоритма МК описаны в [3], [5]). Моделировали конформационное поведение одиночных цепей, среднее значение $\langle H \rangle$ любой характеристики цепной молекулы вычисляли в NVT-ансамбле, причем оценку H этой величины $\langle H \rangle$ получали методом МК. Генерировали углы внутреннего вращения (торсионные углы), определяющие конформацию молекулы, с использованием метода существенной выборки и учетом взаимозависимости каждых трех углов вдоль по цепи; при этом предполагали, что они могут принимать значения в диапазоне $0-360^\circ$. Конформационную энергию цепи рассчитывали с помощью атомных потенциальных функций с параметрами силового поля CHARMM27 [11], [14], учитывали взаимодействия только тех атомов, которые расположены в пределах фрагментов вдоль по цепи (ближние взаимодействия). Фрагменты точно передавали детали химического строения и были выбраны так, чтобы учесть взаимозависимость изменения каждых трех последовательных торсионных углов молекулы. Любая пара смежных фрагментов перекрывалась: два их торсионных угла были общими. Выборка значений углов внутреннего вращения осуществлялась с плотностью вероятностей, учитывающей энергию ближних взаимодействий молекулы. В итоге вычисляли средние характеристики каждой молекулы. В частности, вычислены средние значения $\langle S^2 \rangle$ квадрата радиуса инерции:

$$S^2 = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_a} m_i} \cdot \left[\sum_{i=1}^{n_a} m_i \cdot (\vec{r}_i - \vec{R}_c)^2 \right],$$

где \vec{R}_c – радиус-вектор центра масс рассматриваемой цепи:

$$\vec{R}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_a} m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^{n_a} m_i}.$$

Здесь m_i ($i = 1, 2, \dots, n_a$) – массы атомов; \vec{r}_i (где $i = 1, 2, \dots, n_a$) – радиус-векторы атомов в данной конформации; n_a – общее количество атомов. Вычислены средние квадраты расстояний $\langle h^2 \rangle$ между концевыми атомами углерода молекул. Исследованы относительные флуктуации (ε_{S^2} и ε_{h^2}) величин S^2 и h^2 соответственно:

$$\varepsilon_{S^2} = \left(\langle S^4 \rangle - \langle S^2 \rangle^2 \right) / \langle S^2 \rangle^2,$$

$$\varepsilon_{h^2} = \left(\langle h^4 \rangle - \langle h^2 \rangle^2 \right) / \langle h^2 \rangle^2.$$

Изучена равновесная гибкость молекул; в качестве меры гибкости использовано отношение $\langle h \rangle / L$ [4], где $\langle h \rangle$ – среднее расстояние между концевыми атомами углерода, L – контурная

длина молекулы [6]. Величину L данной молекулы вычисляли как сумму длин максимально вытянутых конформаций участков цепи без двойных связей и с двойными связями. Очевидно, $0 \leq \langle h \rangle / L \leq 1$, и чем меньшим у данной молекулы оказывается отношение $\langle h \rangle / L$, тем более гибкой она является. Наконец, были вычислены величины конформационной теплоемкости $C_v = \partial \langle U \rangle / \partial T = (\langle U^2 \rangle - \langle U \rangle^2) / (k_B \cdot T^2)$ [2; 80] и «удельной» конформационной теплоемкости C_v / N_ϕ . Здесь U – потенциальная энергия ближних взаимодействий молекулы, T – температура, k_B – постоянная Больцмана, $N_\phi = (N-d-3)$ – количество углов внутреннего вращения вокруг простых С-С связей цепи, содержащей N атомов углерода и d двойных связей; 2 угла, отвечающие вращениям концевых CH_2 -групп вокруг связей CH_2 - CH_3 , исключены, поскольку их изменение почти не влияет на энергию U .

Описание строения молекул

Полное описание строения любой из рассматриваемых здесь углеводородных молекул требует указания общего количества атомов углерода (N) в ней, количества двойных связей (d), а также их положения в цепи. Последнее в общем случае требует указания еще d чисел. Однако перечислять положения каждой двойной связи не обязательно, поскольку химическое строение этих молекул специфично: между каждой парой двойных связей расположена только одна группа CH_2 , и положение всех двойных связей легко вычисляется, если известно, например, местоположение только первой двойной связи. Для этого можно задать параметр Δ [17] – номер атома углерода, ближайшего к заданному концу цепи и участвующего в образовании первой (от данного конца цепи) двойной связи. Атомы углерода при этом имеют номера от 1 до N подряд вдоль по цепи, начиная от одного из концевых. Положение всех двойных связей с помощью одного параметра можно описать и другим способом: указать местоположение X их «центра» [17], которое равно среднему арифметическому номеров атомов углерода, участвующих в образовании всех двойных связей. Например, если молекула содержит одну двойную связь, расположенную между 9-м и 10-м атомами углерода, то $\Delta = 9$, а $X = (9 + 10) / 2 = 9,5$; если молекула содержит 2 двойные связи, расположенные между 6-м и 7-м, 9-м и 10-м атомами углерода, то $\Delta = 6$, а $X = (6 + 7 + 9 + 10) / 4 = 8$, и т. д. В зависимости от обстоятельств в настоящей работе использован 1-й или 2-й вариант идентификации молекул (N, d, Δ или N, d, X). Параметры N, d, Δ в обозначениях молекул указаны сокращенной формулой $N:d\omega\Delta cis$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Численные значения ряда полученных в настоящей работе характеристик ($\langle S \rangle$, $\langle S^2 \rangle$, $\langle h \rangle$,

$\langle h^2 \rangle$) для некоторых молекул и соответствующие данные литературы [8], [9], [10], [12], [13], [15], [17], [18], [19], [20] представлены в таблице; в целом они согласуются между собой. Важно отметить, что в большинстве работ приведены данные лишь для отдельных молекул или неболь-

ших групп, а в настоящей работе в идентичных условиях исследована большая их совокупность (65 молекул). Это позволяет выявить взаимосвязь между химическим строением молекул и свойствами веществ. При этом следует учесть, что на результаты могут оказывать влияние избранная

Характеристики* размеров углеводородных цепных молекул, полученные в эксперименте или при компьютерном моделировании (в раскладе или Θ -условиях). Параметры N , d , Δ в обозначениях молекул указаны сокращенной формулой $N:d\omega\Delta cis$

Молекула	T, K	$\langle S \rangle, \text{Å}$	$(\langle S^2 \rangle)^{1/2}, \text{Å}$	$\langle S^2 \rangle, \text{Å}^2$	$\langle h \rangle, \text{Å}$	$(\langle h^2 \rangle)^{1/2}, \text{Å}$	$\langle h^2 \rangle, \text{Å}^2$	Ме- тод**	Ссылка				
16:0	298	4.9±0.2	5.406±0.001	22±2	14.67±0.01	13.92±0.01	226.5±0.4	НР	[10]				
	298			26.02±0.03				МД-а	[12]***				
	298			23.10±0.04				МД-б	[15]				
	298			23.10±0.04				МД-б	[15]				
	303	5.04±0.01		4.678±0.001				19.73±0.3	11.34±0.2	12.94±0.01	141.2±3.0	МК	[17], [18]****
	303	4.909±0.001		24.26±0.01				13.95±0.01	15.28±0.01	241.3±0.1	МК	[17], [18]****	
	313	4.903±0.001		24.20±0.01				13.92±0.01	15.25±0.01	240.5±0.1	МК	Наст. раб.	
	318	4.8±0.2		25.34±0.02				15.84±0.07	15.51±0.01	240.5±0.1	МК	Наст. раб.	
	323	4.8±0.2		22.66±0.02				13.52±0.07	БД	[19]			
	323			24.49±0.02				13.52±0.07	БД	[19]			
	373			21.94±0.02				13.52±0.07	БД	[19]			
	373			21.94±0.02				13.52±0.07	БД	[19]			
18:0	278	5.10±0.01	5.010±0.001	26.54±0.02	14.16±0.01	15.51±0.01	214.6±0.2	МК	[17], [18]****				
	298	5.3±0.1	4.80±0.01	26.06±0.01	13.95±0.01	15.28±0.01	208.8±0.2	МК	[12]***				
	303	5.05±0.01	4.769±0.001	29.30±0.01	15.28±0.01	15.28±0.01	241.3±0.1	МК	[17], [18]****				
	303	5.391±0.001	4.47±0.01	29.22±0.01	15.25±0.01	15.25±0.01	240.5±0.1	МК	Наст. раб.				
	313	5.384±0.001	4.92±0.01	29.22±0.01	15.25±0.01	15.25±0.01	240.5±0.1	МК	Наст. раб.				
18:1ω9cis	313		5.010±0.001			14.09±0.01		МК	Наст. раб.				
	497.5		4.80±0.01			13.18±0.04		БД	[19]				
18:2ω6cis	278	4.52±0.01	4.769±0.001	20.91±0.1	11.99±0.04	13.31±0.01	157.9±0.8	МК	[17], [18]****				
	313	4.745±0.001	4.47±0.01	22.74±0.01	12.92±0.01	11.66±0.05	177.1±0.1	МК	Наст. раб.				
	497.5		4.47±0.01					БД	[19]				
18:3ω3cis	278	4.39±0.04	4.678±0.001	19.73±0.3	11.34±0.2	12.94±0.01	141.2±3.0	МК	[17], [18]****				
	313	4.655±0.001	4.678±0.001	21.88±0.01	12.59±0.01	10.60±0.05	167.4±0.2	МК	Наст. раб.				
	497.5		4.32±0.01					БД	[19]				
18:4ω3cis	278	4.10±0.02		17.20±0.2	10.16±0.1		116.0±2.0	МК	[17], [18]****				
	313	4.446±0.001		19.94±0.01	11.91±0.01		150.3±0.2	МК	Наст. раб.				
18:5ω3cis	278	3.96±0.01		16.06±0.01	9.46±0.01		101.4±0.2	МК	[17], [18]****				
	303	3.95±0.01		16.05±0.01	9.47±0.01		101.5±0.2	МК	[17], [18]****				
	313	4.369±0.002		19.26±0.02	11.60±0.02		141.9±0.4	МК	Наст. раб.				
20:0	298	5.7±0.1						МК	[12]***				
	303	5.856±0.001		34.61±0.01			284.1±0.1	МК	Наст. раб.				
	313	5.848±0.001		34.52±0.01			283.0±0.1	МК	Наст. раб.				
	318	5.1±0.3						НР	[13]				
	500			36.17±0.01			312.7±0.1	МК	[9]				
	500			36.18±0.01			313.6±0.1	МК	[9]				
	500			36±1			311±15	МД	[9]				

Примечание. * T – температура; $\langle S \rangle$, $\langle S^2 \rangle$, $(\langle S^2 \rangle)^{1/2}$ – среднее значение радиуса инерции, его квадрата и значение корня квадратного из среднего квадрата; $\langle h \rangle$, $\langle h^2 \rangle$, $(\langle h^2 \rangle)^{1/2}$ – среднее значение расстояния между концевыми атомами углерода, его квадрата и значение корня квадратного из среднего квадрата.

** Методы: МК – Монте-Карло; МД – молекулярная динамика; НР – нейтронное рассеяние; БД – броуновская динамика; МД-а, МД-б – молекулярная динамика с разными вариантами параметров силового поля (варианты а, б) – для молекул 16:0 в условиях расплава из работы [15].

*** Для молекул в газовой фазе; получено численной аппроксимацией графика рисунка 4(а) из работы [12].

**** Для молекул 18:0 в условиях расплава из работы [20].

***** Данные для молекул в Θ -условиях получены по методике, описанной в работах [17], [18].

модель цепи и метод моделирования. В этой связи уместно привести данные специального исследования [7]: с помощью метода МК, в рамках модели объединенных атомов (CH_2 - или CH_3 -группы считали единым атомом), при разных вариантах расчета энергии ближних взаимодействий были вычислены средние характеристики насыщенных молекул из 2, 3, ..., 51 атомов в невозмущенном состоянии; $T = 373$ К. Авторами работы [7] рассмотрено 5 вариантов: ближними считали взаимодействия пар атомов, разделенных не более чем 3, 4, 5, 7 или 10 валентными связями, то есть в пределах фрагментов, содержащих 1, 2, 3, 5 или 8 последовательных торсионных углов соответственно. Компоненты энергии фрагментов (энергии валентных связей и валентных углов, торсионная энергия и энергия невалентных взаимодействий) во всех 5 вариантах были одинаковыми. Оказалось, что выбор варианта расчета ближних взаимодействий существенно влияет на величины $\langle S^2 \rangle$, $\langle h^2 \rangle$ [7]. Например, величина $\langle h^2 \rangle$ молекулы 22:0 при учете взаимозависимости 5 торсионных углов по сравнению с учетом 2 торсионных углов отличалась на $\sim 11\%$, а учет 8 торсионных углов увеличил разницу до $\sim 18\%$.

Совокупности молекул, по объемам аналогичные тем, которые исследованы в настоящей работе, изучали только авторы работ [4], [17], [18]. Модель цепи и алгоритм МК настоящей работы существенно отличаются от таковых в работах [4], [17], [18]; в частности, здесь учтена взаимозависимость каждых трех торсионных углов вдоль по цепи, а в [4], [17], [18] – попарная корреляция. Кроме того (в отличие от вариантов работы [7]), здесь и в работах [4], [17], [18] различны и параметры атом-атомных потенциальных функций, определяющих силовое поле. Это является причиной разницы в расчетных значениях одних и тех же характеристик. Действительно, несмотря на приемлемое согласие в данных, приведенных в таблице, имеются количественные различия (~ 6 – 14%) между характеристиками $\langle S \rangle$, $\langle S^2 \rangle$, $\langle h \rangle$, $\langle h^2 \rangle$, вычисленными в настоящей работе и в работах [17], [18]. Относительная разница в численных значениях $\langle h \rangle/L$ по сравнению со значениями работы [4] (в таблицу не включены) составляет ~ 8 – 10% , в отдельных случаях (для полиненасыщенных молекул с $N = 22$) она достигает ~ 18 – 20% . Учитывая существование этих различий (которые отвечают и выводам работы [7]), а также недостаток экспериментальных данных для сравнения, в настоящей работе при анализе расчетных характеристик наибольшее внимание уделено не абсолютным их значениям, а взаимным корреляциям и тенденциям изменения при изменении химического строения молекул.

Рассчитанные свойства молекул удобно представлять в зависимости от одного из структурных параметров при фиксировании двух других.

На рис. 1, 3, 4 приведены зависимости от параметра X оценок величин $\langle h \rangle/L$, ε_{h^2} и C_V/N_ϕ соответственно, а на рис. 2 – зависимости оценок величины $\langle h \rangle/L$ от параметра d ; температура $T = 293$ К.

Равновесная гибкость. Рис. 1 свидетельствует о том, что мононенасыщенная ($d = 1$) молекула, независимо от местоположения (X) двойной связи, является более гибкой, чем насыщенная ($d = 0$) с тем же N , для рассмотренных значений $N = 16, 18, 20, 22$. Физическая причина состоит в том, что зависимости энергии фрагментов, содержащих двойные связи *cis*, от торсионных углов, то есть поверхности энергии, имеют области минимумов, соответствующие более свернутым конформациям по сравнению с вытянутыми конформациями, отвечающими минимуму энергии во фрагментах насыщенных цепей [2], [6]. Они являются также и более пологими, то есть торсионные углы могут изменяться в значительно более широких пределах [2], [6]. Молекулярные основы возникновения такой разницы в поверхностях энергии – особенности химического строения (значений валентных углов и связей) и внутренних вращений в подобных цепях. В частности, согласно экспериментальным данным, барьер внутреннего вращения вокруг С-С связи в насыщенной цепи равен ~ 3 ккал/моль, а глобальный минимум энергии отвечает транс-конформации. При этом барьеры вращения вокруг двух С-С связей, примыкающих с двух сторон к двойной связи $\text{C}=\text{C}$ в ненасыщенной цепи, меньше (~ 2 ккал/моль) [2], [6], а минимум энергии отвечает заслоненной конформации. Барьер вращения вокруг двойной связи, как известно [2; 185], весьма велик, ~ 60 ккал/моль. Поэтому, несмотря на то что при переходе от насыщенной к мононенасыщенной цепи вместо «гибкого» элемента (связи С-С, вокруг которой возможно вращение) присутствует «жесткий» элемент (двойная связь $\text{C}=\text{C}$, вокруг которой вращение практически отсутствует), низкоэнергетические конформации мононенасыщенной цепи за счет особенностей вращений вокруг двух С-С связей, примыкающих с двух сторон к двойной связи, (а) являются более свернутыми и (б) отвечают более широкому диапазонам изменения торсионных углов. В итоге уменьшается $\langle h \rangle$, то есть увеличивается гибкость молекулы. Далее, при $N = \text{Const}$ и $d \geq 1$ увеличение количества d двойных связей в молекуле тоже, как правило, приводит к уменьшению значений параметра $\langle h \rangle/L$ (физические причины этого перечислены выше), но уже не во всех случаях (см. рис. 1, 2). Не все диеновые молекулы являются более гибкими, чем моноеновые; не все триеновые молекулы – более гибкие, чем диеновые, и т. д., поскольку результат зависит еще и от местоположения X двойных связей в цепи. Чем ближе к середине цепи расположены двойные связи в молекуле при

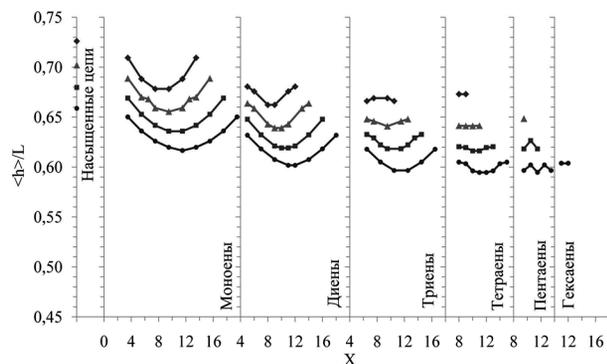


Рис. 1. Зависимости отношений $\langle h \rangle / L$ от параметра X. Здесь $\langle h \rangle$ – среднее расстояние между концевыми атомами углерода молекулы, L – ее контурная длина, X – местоположение в цепи «центра» метилепрерывающихся двойных связей. Исследованы невозмущенные углеводородные молекулы с количеством N атомов углерода 16 (◆), 18 (▲), 20 (■) и 22 (●). Результаты представлены по группам молекул с одинаковым количеством d двойных связей cis (насыщенные, d = 0; моноены, d = 1; диены, d = 2; триены, d = 3; тетраены, d = 4; пентаены, d = 5; гексаены, d = 6). Расчеты проведены методом МК при температуре T = 293 К. Доверительные интервалы отвечают 95%-ной надежности согласно t-распределению Стьюдента (они меньше размеров символов на графиках)

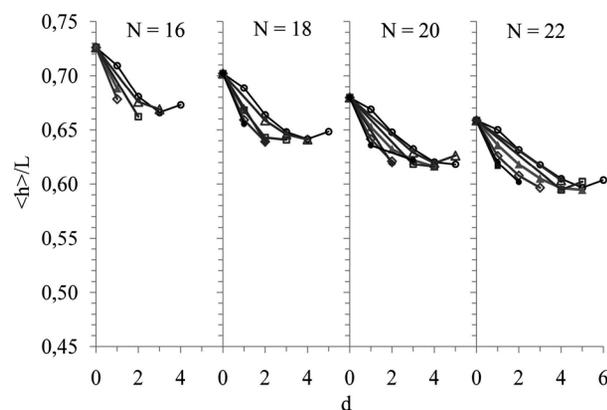


Рис. 2. Зависимости отношений $\langle h \rangle / L$ (где $\langle h \rangle$ – среднее расстояние между концевыми атомами углерода цепи, L – ее контурная длина) от количества d двойных связей cis для невозмущенных углеводородных молекул с параметром $\Delta = 3$ (◆), 4 (▲), 5 (■), 6 (●), 7 (◇), 8 (◆), 9 (●), 11 (■) по группам молекул с одинаковым количеством N атомов углерода. Параметр Δ – номер атома углерода, участвующего в образовании первой двойной связи от конца цепи. Расчет методом МК при температуре T = 293 К. Доверительные интервалы, отвечающие 95%-ной надежности согласно t-распределению Стьюдента, меньше размеров символов на графиках

d = Const и N = Const, тем, как правило, больше ее гибкость (см. рис. 1). Этот эффект объясняется разной степенью влияния наиболее низкоэнергетических (свернутых) конформаций фрагментов, содержащих двойные связи. Если фрагмент с двойными связями расположен у конца цепи, свернутые конформации оказываются в известном смысле «локальными» по сравнению с вытянутыми низкоэнергетическими конформациями оставшегося (насыщенного) участка цепи. Нали-

чие такого фрагмента вблизи середины цепи разделяет насыщенную часть молекулы на 2 участка, низкоэнергетические конформации которых в общем случае вытянуты в разных направлениях, что уменьшает расстояние $\langle h \rangle$.

Конкурентное влияние на величину $\langle h \rangle / L$ количества двойных связей d и их местоположения X (или Δ) можно назвать «d – X – конкуренцией» или «d – Δ – конкуренцией». Вследствие такой конкуренции и могут возникнуть упомянутые выше ситуации, когда при N = Const молекула с большей степенью ненасыщенности (d_1 двойных связей) является менее гибкой, чем менее ненасыщенная молекула (d_2 двойных связей, $d_2 < d_1$). В случае реализации такой ситуации в первой молекуле d_1 двойных связей расположены, как правило, у одного из ее концов, а во второй молекуле d_2 двойных связей – вблизи середины цепи (см. рис. 1).

Наконец, при d = Const и X = Const гибкость молекулы растет ($\langle h \rangle / L$ уменьшается) с ростом N для всех рассмотренных N (см. рис. 1).

Обсуждаемые для $\langle h \rangle / L$ закономерности коррелируют с таковыми работы [4], несмотря на упомянутую выше разницу в моделях. Иными словами, использованный метод моделирования позволяет выявлять основные тенденции, определяющие влияние химического строения на свойства молекул.

Относительные флуктуации геометрических размеров. Наблюдается рост флуктуаций ϵ_{h_2} (рис. 3) для всех моноеновых и диеновых цепей (d = 1, 2), а также достаточно длинных (N = 18, 20, 22) триеновых и тетраеновых цепей (d = 3, 4) при смещении X от концов к середине цепи. Если количество двойных связей в цепи еще больше (d = 5 и 6), то величина ϵ_{h_2} зависит от параметра X немонотонно. Аналогично ведут себя относительные флуктуации ϵ_{s_2} (данные здесь не представлены), хотя их амплитуда значительно, примерно в 5 раз, меньше, чем амплитуда ϵ_{h_2} . Последнее вполне объяснимо: S^2 вычисляется с учетом взаимных положений всех атомов молекулы, тогда как h^2 – только двух концевых атомов углерода. Отметим, что общие тенденции, которые отражают зависимости величины ϵ_{h_2} от параметра X (см. рис. 3), качественно согласуются с тенденциями изменения от этого параметра величины гибкости, характеризуемой отношением $\langle h \rangle / L$ (см. рис. 1): чем более гибкой является молекула (то есть чем меньше $\langle h \rangle / L$), тем больше и флуктуации ее геометрических размеров (в этом смысле величина ϵ_{h_2} может служить своеобразной мерой гибкости). Увеличение флуктуаций ϵ_{h_2} (и ϵ_{s_2}) при смещении X от концов к середине цепи, при N = Const, d = Const, как и увеличение ее гибкости, связано с описанными выше особенностями строения молекул и внутренних вращений.

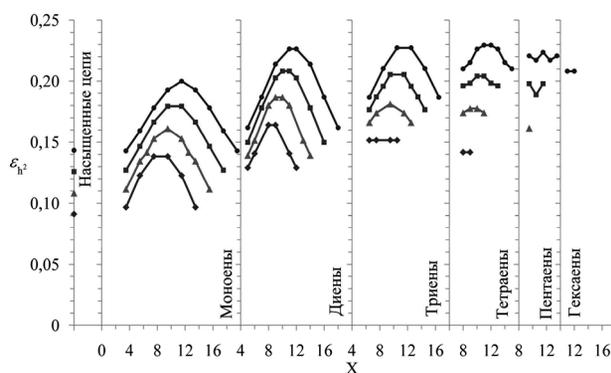


Рис. 3. Зависимости относительных флуктуаций ε_{h_2} квадратов расстояний между концевыми атомами углерода невозмущенных углеводородных молекул от параметра X. Условия и обозначения, как на рис. 1

Удельная конформационная теплоемкость. Конформационная теплоемкость, приходящаяся на один угол вращения вокруг простой связи C-C, соседней с двойной (в ненасыщенных цепях), меньше, чем вокруг простой связи C-C в насыщенном участке цепи. Этот вывод следует из сравнения данных, например, для цепей 16:0 и 22:6ω3cis (рис. 4). Для обеих молекул $N_{\phi} = 13$. Величина C_V/N_{ϕ} для цепи 16:0 приходится на угол вращения только вокруг простой связи C-C (углов другого типа N_{ϕ} не содержит). Для цепи 22:6ω3cis она почти полностью приходится на угол вращения вокруг связи C-C, соседней с двойной (таких углов 12 из 13). Различие между величинами C_V/N_{ϕ} вызвано тем, что, как упоминалось выше, первый торсионный барьер (~3 ккал/моль) больше, чем второй (~2 ккал/моль); минимумы поверхностей энергии в ненасыщенной цепи более пологие. В результате плотность высокоэнергетических состояний в насыщенной цепи оказывается больше, чем в ненасыщенной. С увеличением в молекуле количества двойных связей, то есть с ростом доли простых C-C

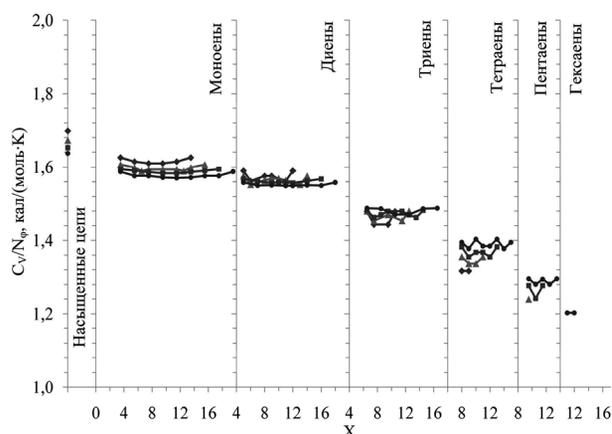


Рис. 4. Зависимости от параметра X удельных конформационных теплоемкостей C_V/N_{ϕ} , связанных с флуктуациями энергии ближних взаимодействий невозмущенных углеводородных молекул. Условия и обозначения, как на рис. 1

связей, соседних с двойными, величина C_V/N_{ϕ} молекулы постепенно уменьшается (см. рис. 4). Удельная теплоемкость в цепях с $N = \text{Const}$, $d = \text{Const}$ почти не зависит от X (см. рис. 4), поскольку при этом доля простых C-C связей, прилегающих к двойным, остается постоянной. Вклад внутреннего вращения в теплоемкость различных молекул цепного строения весьма важен; он обсуждается, например, в обзоре [21].

Итак, в работе установлена связь между химическим строением широко распространенных в природе цепных углеводородных молекул и относительными флуктуациями их геометрических размеров, а также конформационной теплоемкостью, связанной с флуктуациями энергии ближних взаимодействий, обобщен ряд тенденций изменения равновесной гибкости молекул. Полученные данные способствуют углублению общего понимания взаимосвязей между структурой и свойствами данного класса молекул.

* Работа выполнена при поддержке программ президента РФ «Ведущие научные школы» (гранты НШ-1642.2012.4, НШ-1410.2014.4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геннис Р. Биомембраны: Молекулярная структура и функции. М.: Мир, 1997. 624 с.
2. Дашевский В. Г. Конформации органических молекул. М.: Химия, 1974. 428 с.
3. Журкин Д. В., Рабинович А. Л. Оценка формы цепных углеводородных молекул методом Монте-Карло // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 6 (143). С. 109–117.
4. Рабинович А. Л. Цепные молекулы как компоненты мембранных систем: компьютерное моделирование // Методы компьютерного моделирования для исследования полимеров и биополимеров. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. С. 410.
5. Рабинович А. Л., Журкин Д. В. Существенная выборка при моделировании непрерывного спектра конформаций макромолекул методом Монте-Карло // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Сер. «Математическое моделирование и информационные технологии». 2013. Вып. 4. С. 96–111.
6. Флори П. Статистическая механика цепных молекул. М.: Мир, 1971. 440 с.
7. Baschnagel J., Qin K., Paul W., Binder K. Monte Carlo Simulation of Models for Single Polyethylene Coils // Macromolecules. 1992. Vol. 25. № 12. P. 3117–3124.
8. Bessières D., Piñeiro M. M., De Ferron G., Plantier F. Analysis of the orientational order effect on n-alkanes: Evidences on experimental response functions and description using Monte Carlo molecular simulation // J. Chem. Phys. 2010. Vol. 133. 074507.

9. Brown D., Clarke J. H. R., Okuda M., Yamazaki T. A molecular dynamics study of chain configurations in n-alkane-like liquids // *J. Chem. Phys.* 1994. Vol. 100. № 2. P. 1684–1692.
10. Dettenmaier M. Conformation of n-alkane molecules in the melt and in cyclohexane solution studied by small-angle neutron scattering // *J. Chem. Phys.* 1978. Vol. 68. № 5. P. 2319–2322.
11. Feller S. E., Gawrisch G., MacKerell Jr. A. D. Polyunsaturated Fatty Acids in Lipid Bilayers: Intrinsic and Environmental Contributions to Their Unique Physical Properties // *J. Am. Chem. Soc.* 2002. Vol. 124. № 2. P. 318–326.
12. Ferguson A. L., Debenedetti P. G., Panagiotopoulos A. Z. Solubility and Molecular Conformations of n-Alkane Chains in Water // *J. Phys. Chem. B.* 2009. Vol. 113. № 18. P. 6405–6414.
13. Goodsaid-Zalduondo F., Engelman D. M. Conformation of liquid n-alkanes // *Biophys. J.* 1981. Vol. 35. P. 587–594.
14. Högberg C. J., Nikitin A. M., Lyubartsev A. P. Modification of the CHARMM Force Field for DMPC Lipid Bilayer // *J. Comput. Chem.* 2008. Vol. 29. P. 2359–2369.
15. Mondello M., Grest G. S. Viscosity calculations of n-alkanes by equilibrium molecular dynamics // *J. Chem. Phys.* 1997. Vol. 106. № 22. P. 9327–9336.
16. Nelson D. L., Cox M. M. *Lehninger Principles of Biochemistry*. 5th ed. N. Y.: Freeman W.H. and Co., 2008. Ch. 10. P. 343.
17. Rabinovich A. L., Ripatti P. O. Monte Carlo simulations of hydrocarbon oligomeric chains. Shape and dimension characteristics // *Proc. SPIE.* 2001. Vol. 4348. P. 225–236.
18. Rabinovich A. L., Ripatti P. O. Monte Carlo simulations of hydrocarbon oligomeric chains: carbon skeleton cross sectional areas // *Proc. SPIE.* 2002. Vol. 4627. P. 118–128.
19. Rey A., Kolinski A., Skolnick J. Effect of double bonds on the dynamics of hydrocarbon chains // *J. Chem. Phys.* 1992. Vol. 97. № 2. P. 1240–1249.
20. Sun L., Siepmann J. I., Schure M. R. Conformation and Solvation Structure for an Isolated n-Octadecane Chain in Water, Methanol, and Their Mixtures // *J. Phys. Chem. B.* 2006. Vol. 110. P. 10519–10525.
21. Wunderlich B. *Phases of Amorphous, Crystalline, and Intermediate Order in Microphase and Nanophase Systems // Hot Topics in Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 8: Glassy, Amorphous and Nano-Crystalline Materials. Thermal Physics, Analysis, Structure and Properties. Dordrecht etc.: Springer Science+Business Media B.V., 2011. P. 93.
22. Yoon D. Y., Flory P. J. Small angle neutron scattering by n-alkane chains // *J. Chem. Phys.* 1978. Vol. 69. № 6. P. 2536–2538.

Zhurkin D. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Rabinovich A. L., Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

MONTE CARLO STUDY OF GEOMETRIC, THERMODYNAMIC PROPERTIES AND FLEXIBILITY OF HYDROCARBON CHAIN MOLECULES

One of the main problems of condensed matter physics is investigation of interconnections between chemical structures and physical properties of various molecules. The hydrocarbon chain molecules play an important role in natural systems. They are widely used in different fields of technology. In this paper, Monte Carlo simulation of 65 hydrocarbon chain molecules $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_a\text{-(CH=CH-CH}_2\text{)}_d\text{-(CH}_2\text{)}_b\text{-CH}_3$ (where a, b, d are integer). Sets of $N = 16, 18, 20, 22$ (where $N = a + b + 3d + 2$ is carbons number), $d = 0, 1, \dots, 6$ (where d is cis double bonds number) are studied; temperature $T = 293, 303$ and 313 K. All studied molecules were treated in unperturbed state, torsion angles were generated using importance sampling technique in $0 - 360$ deg range and three-wise interdependence of torsions along the chain. As a result, the equilibrium flexibility, conformational heat capacity, relative fluctuations of square radius of gyration, and square end-to-end distance of each molecule were calculated in the simulations. Dependencies of the properties on the molecule structure parameters were analyzed. The set of regularities, including correlations between flexibility and relative fluctuations of geometric dimensions, were found. An interpretation of obtained dependencies based on experimental data of characteristics of internal rotation in the chains, was proposed. The obtained data provide further insight into interconnections between the structure and properties of considered molecules.

Key words: unsaturated hydrocarbons, Monte Carlo simulation, equilibrium flexibility, fluctuations, conformational heat capacity

REFERENCES

1. Gennis R. *Biomembranes. Molecular structure and functions*. N. Y., etc: Springer, 1989. 533 p.
2. Dashevskiy V. G. *Konformatsii organicheskikh molekul* [Conformations of Organic Molecules]. Moscow, Khimiya Publ., 1974. 428 p.
3. Zhurkin D. V., Rabinovich A. L. Monte Carlo evaluation of shape of hydrocarbon chain molecules [Otsenka formy tsepnykh uglevodorodnykh molekul metodom Monte-Karlo]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2014. № 6 (143). P. 109–117.
4. Rabinovich A. L. Chain molecules as constituents of membrane systems: computer simulations [Tsepnye molekuly kak komponenty membrannykh sistem: komp'yuternoe modelirovanie]. *Metody komp'yuternogo modelirovaniya dlya issledovaniya polimerov i biopolimerov* [Computer Simulation Methods of Polymer and Biopolymer Researches]. Moscow, Knizhnyy dom "LIBROKOM", 2009. P. 410.
5. Rabinovich A. L., Zhurkin D. V. An importance sampling for Monte Carlo simulation of a continuous spectrum of conformations of macromolecules [Sushchestvennaya vyborka pri modelirovanii nepreryvnogo spektra konformatsiy makromolekul metodom Monte-Karlo]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Seriya "Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii"* [Proceedings of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. Mathematical modeling and information technologies]. 2013. Vol. 4. P. 96–111.
6. Flory P. J. *Statistical Mechanics of Chain Molecules*. N. Y. etc.: Interscience Publ., 1969. 432 p.
7. Baschnagel J., Qin K., Paul W., Binder K. Monte Carlo Simulation of Models for Single Polyethylene Coils // *Macromolecules*. 1992. Vol. 25. № 12. P. 3117–3124.
8. Bessières D., Piñeiro M. M., DeFeron G., Plantier F. Analysis of the orientational order effect on n-alkanes: Evidences on experimental response functions and description using Monte Carlo molecular simulation // *J. Chem. Phys.* 2010. Vol. 133. 074507.

9. Brown D., Clarke J. H. R., Okuda M., Yamazaki T. A molecular dynamics study of chain configurations in n-alkane-like liquids // J. Chem. Phys. 1994. Vol. 100. № 2. P. 1684–1692.
10. Dettenmaier M. Conformation of n-alkane molecules in the melt and in cyclohexane solution studied by small-angle neutron scattering // J. Chem. Phys. 1978. Vol. 68. № 5. P. 2319–2322.
11. Feller S. E., Gawrisch G., MacKerell Jr. A. D. Polyunsaturated Fatty Acids in Lipid Bilayers: Intrinsic and Environmental Contributions to Their Unique Physical Properties // J. Am. Chem. Soc. 2002. Vol. 124. № 2. P. 318–326.
12. Ferguson A. L., Debenedetti P. G., Panagiotopoulos A. Z. Solubility and Molecular Conformations of n-Alkane Chains in Water // J. Phys. Chem. B. 2009. Vol. 113. № 18. P. 6405–6414.
13. Goodsaid-Zalduendo F., Engelman D. M. Conformation of liquid n-alkanes // Biophys. J. 1981. Vol. 35. P. 587–594.
14. Höggberg C. J., Nikitin A. M., Lyubartsev A. P. Modification of the CHARMM Force Field for DMPC Lipid Bilayer // J. Comput. Chem. 2008. Vol. 29. P. 2359–2369.
15. Mondello M., Grest G. S. Viscosity calculations of n-alkanes by equilibrium molecular dynamics // J. Chem. Phys. 1997. Vol. 106. № 22. P. 9327–9336.
16. Nelson D. L., Cox M. M. Lehninger Principles of Biochemistry. 5th ed. N. Y.: Freeman W.H. and Co., 2008. Ch. 10. P. 343.
17. Rabinovich A. L., Ripatti P. O. Monte Carlo simulations of hydrocarbon oligomeric chains. Shape and dimension characteristics // Proc. SPIE. 2001. Vol. 4348. P. 225–236.
18. Rabinovich A. L., Ripatti P. O. Monte Carlo simulations of hydrocarbon oligomeric chains: carbon skeleton cross sectional areas // Proc. SPIE. 2002. Vol. 4627. P.118–128.
19. Rey A., Kolinski A., Skolnick J. Effect of double bonds on the dynamics of hydrocarbon chains // J. Chem. Phys. 1992. Vol. 97. № 2. P. 1240–1249.
20. Sun L., Siepmann J. I., Schure M. R. Conformation and Solvation Structure for an Isolated n-Octadecane Chain in Water, Methanol, and Their Mixtures // J. Phys. Chem. B. 2006. Vol. 110. P. 10519–10525.
21. Wunderlich B. Phases of Amorphous, Crystalline, and Intermediate Order in Microphase and Nanophase Systems // Hot Topics in Thermal Analysis and Calorimetry. Vol. 8: Glassy, Amorphous and Nano-Crystalline Materials. Thermal Physics, Analysis, Structure and Properties. Dordrecht etc.: Springer Science+Business Media B.V., 2011. P. 93.
22. Yoon D. Y., Flory P. J. Small angle neutron scattering by n-alkane chains // J. Chem. Phys. 1978. Vol. 69. № 6. P. 2536–2538.

Поступила в редакцию 28.07.2014

УДК 539.192+547.821.2+547.821.411.2+547.821.412.6

ВЛАДИМИР ВЛАДИМИРОВИЧ РОМАНОВаспирант кафедры физики твердого тела физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vvromanov09@mail.ru**ЯКОВ ПЕТРОВИЧ НИЖНИК**кандидат химических наук, старший научный сотрудник Bioo Scientific Corporation (Остин, США)
yakov_nizhnik@mail.ru**АНАТОЛИЙ ДМИТРИЕВИЧ ФОФАНОВ**доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
fofanov_ad@mail.ru

КОНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ КАТИОНОВ СЕМИСОЛЕЙ ГЕТЕРОАРОМАТИЧЕСКИХ N-ОКСИДОВ*

В зависимости от строения гетероароматических N-оксидов группа N–O может проявлять как электронодонорные, так и электроноакцепторные свойства. Было высказано предположение, что атом кислорода в комплексах данных соединений может находиться либо в состоянии sp^3 -гибридизации, либо в состоянии sp^2 -гибридизации. Для проверки этой гипотезы нами был проведен конформационный анализ четырех семисолей гетероароматических N-оксидов: бис (пиридин-N-оксид) водорода, бис (2-метилпиридин-N-оксид) водорода, бис (2,6-диметилпиридин-N-оксид) водорода и бис (4-хлорохинолин-N-оксид) водорода. Поскольку значения энергий конформаций, соответствующие sp^2 -гибридному атому кислорода, соответствуют максимумам на энергетической поверхности, то существование прочных аддуктов N-оксидов с sp^2 -гибридизованным атомом кислорода в твердой фазе можно поставить под сомнение.

Ключевые слова: конформация, конформационный анализ, гетероароматические N-оксиды, гибридизация, энергетическая поверхность

ВВЕДЕНИЕ

Гетероароматические N-оксиды содержат атом кислорода, связанный семиполярной связью с эндоциклическим атомом азота ароматического гетероцикла. В силу особенностей электронного строения таких молекул, группа N–O может проявлять как электронодонорные, так и электроноакцепторные свойства в зависимости от строения N-оксида [8], [11], [12]. Такой двойственный характер N-оксидной группы обуславливает своеобразные химические свойства гетероароматических N-оксидов, что проявляется в легкости осуществления как реакций S_N , так и S_E . Недавно было показано, что скорости реакций S_N в ряду гетероароматических N-оксидов значительно ускоряются при комплексообразовании N-оксидов с кислотами Льюиса и Брэнстеда-Лоури [3], [4], [6], [7], при этом, как правило, атом кислорода N-оксидной группы служит донорным центром. Было высказано предположение [1], [2], что в различных молекулярных комплексах гетероароматических N-оксидов атом кислорода может находиться либо в состоянии sp^3 -гибридизации (рис. 1А), либо в состоянии sp^2 -гибридизации (рис. 1Б).

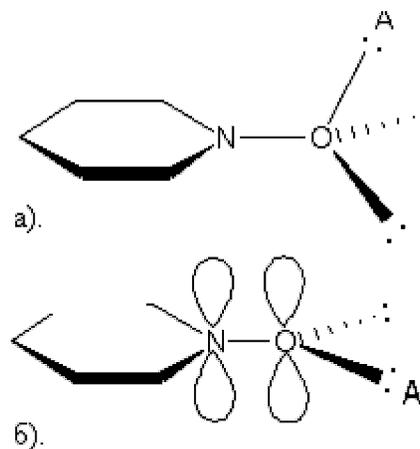


Рис. 1. Структура аддуктов N-оксида пиридина с атомом кислорода в состоянии sp^3 - (А) и sp^2 -гибридизации (Б)

Для проверки этой гипотезы необходимо провести детальное квантовомеханическое описание молекулярных комплексов N-оксидов, в частности, необходимо проанализировать энергии различных конформаций этих аддуктов с точки зрения конформационного анализа, поскольку то или иное строение аддукта может быть связано исключительно со стерическими фактора-

ми, а не с типом гибридизации атома кислорода (sp^2 и sp^3). Для этого необходимо рассчитать энергии двух крайних конформаций с разной гибридизацией атома кислорода (*A* и *B*). Учитывая возможность свободного вращения относительно одинарной связи N–O в структуре с sp^3 -гибридизованным атомом кислорода, для оценки энергии структуры *B* с точки зрения стерических факторов возможно использовать структуру *A*, которая наиболее часто встречается в этих аддуктах в твердом виде: для этого необходимо построить зависимость энергии аддукта от двугранного угла между плоскостью ароматического кольца и плоскостью N–O–A (*A* – кислота Льюиса или Брэнстеда-Лоури). Если энергия структуры, соответствующей структуре *B*, будет очень значительной, то возможность существования комплексов N-оксидов с sp^2 -гибридизованным атомом кислорода можно поставить под сомнение.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Для нахождения энергетической поверхности нами были выбраны семисоли (основные соли) нескольких N-оксидов, поскольку, согласно [1], именно слабое взаимодействие между атомом кислорода в N-оксидах и кислотным центром должно благоприятствовать sp^2 -гибридизованному атому кислорода. Кроме того, симметричная структура лиганд...H⁺...лиганд значительно облегчает расчет конформационных зависимостей.

Структурные данные для тетрахлоораурата бис (пиридин-N-оксид) водорода, (PyNO)₂H⁺...AuCl₄⁻, хлорида бис (2-метилпиридин N-оксид) водорода, (2-MePyNO)₂H⁺...Cl⁻, тетрахлоораурата бис (2,6-диметилпиридин) водорода, (2,6-Me₂PyNO)₂H⁺...AuCl₄⁻ были взяты из КСБД (коды BALGUQ10 [10], VOJBUX [13] и ZUBDEF [9] соответственно), а для трибромида бис (4-хлорхинолин-N-оксид) водорода нами был проведен РСА [5].

Нами была написана утилита, позволяющая изменять конформацию заданной молекулы по некоторому заданному набору правил, сохраняя при этом промежуточные конформации в формате, предназначенном для программы ABINIT. Изменение конформации может представлять собой изменение длин связей, углов между связями, торсионных углов (в заданных пределах и с заданным шагом). Возможно совместное либо независимое варьирование нескольких конформационных параметров.

Мы промоделировали возможные конформационные переходы в катионах следующим образом: ароматический фрагмент вращали против часовой стрелки (глаз: O–N) вокруг соответствующей связи N–O с шагом 1°, используя написанную нами утилиту. Для каждой полученной конформации рассчитывали энергию из первых принципов при помощи программы ABINIT, и таким образом получали зависимость энергии

от угла поворота. Угол в 0° соответствует конформации, структура которой была определена методом РСА. Полученная зависимость энергии от угла была переведена из ед. Хартри на молекулу в кДж/моль, а за нулевой уровень энергии был принят абсолютный минимум на каждой конкретной зависимости.

Для расчета энергий была использована программа ABINIT, реализующая метод функционала плотности. Расчеты выполнены в приближении локальной плотности с использованием ТМ псевдопотенциалов (Troullier, Martins) и базиса плоских волн.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В случае катиона бис (пиридин-N-оксид) водорода (рис. 2) на энергетической поверхности наблюдаются два энергетических максимума (~ 20 кДж/моль), обусловленные некоторым сближением атома водорода при α-углеродном атоме пиридинового кольца и атома водорода O...H⁺...O группы. В случае катиона бис (2-метилпиридин-N-оксид) водорода (рис. 3) также наблюдается два основных максимума – 14 и 315 кДж/моль; первый максимум обусловлен сближением атома водорода при α-углеродном атоме пиридинового кольца и атома водорода O...H⁺...O группы, второй – сближением объемной метильной группы с атомами кислорода (второго лиганда) и водорода O...H⁺...O группы. Энергетическая зависимость для катиона бис (2,6-диметилпиридин-N-оксид) водорода (рис. 4) также имеет два значительных максимума (96 и 72 кДж/моль), появление которых обусловлено теми же факторами. Меньшие значения энергии в последнем случае по сравнению с катионом бис (2-метилпиридин-N-оксид) водорода, возможно, обусловлены снятием стерического напряжения между сближенными метильными группами в исходном катионе при вращении одного из лигандов.

Аналогичная картина наблюдается и для катиона бис (4-хлорхинолин N-оксид) водорода [5] (рис. 5).

Очевидно, что во всех приведенных случаях атом кислорода в лигандах находится в состоянии sp^3 -гибридизации, поскольку экспериментально и расчетно найденный двугранный угол между плоскостями, проведенными через атомы хинолинового кольца и через атомы N–O...H...O–N, составляет около 90° (соответствует 0° на рисунках). В случае sp^2 -гибридного атома кислорода данный двугранный угол должен быть равным 0° (соответствует 90° и 270° на рисунках), что, однако, не исключает и sp^3 -гибридного состояния атома кислорода вследствие свободного вращения вокруг одинарной связи N–O. Однако если предположить возможность реализации sp^2 -гибридного состояния атома кислорода в данном комплексе, то очевидно, что гео-

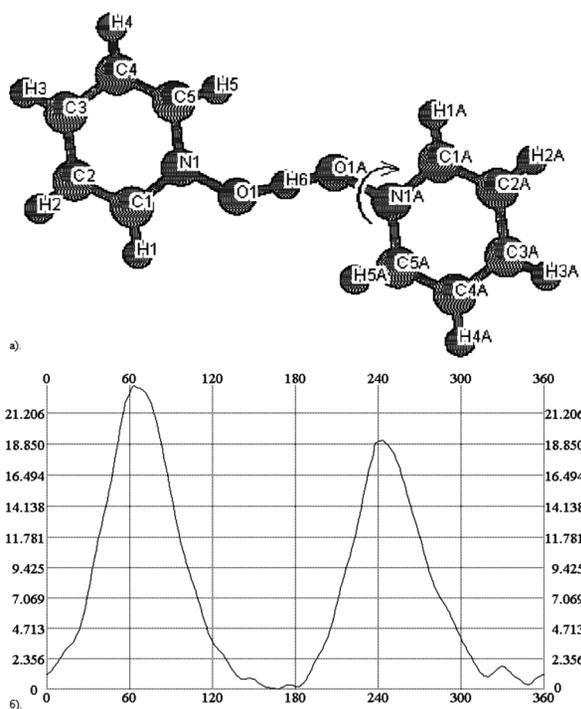


Рис. 2. Катион $(\text{PyNO})_2\text{H}^+$: А – структура катиона и направление выполняемого в эксперименте поворота, Б – полученная зависимость энергии от угла поворота

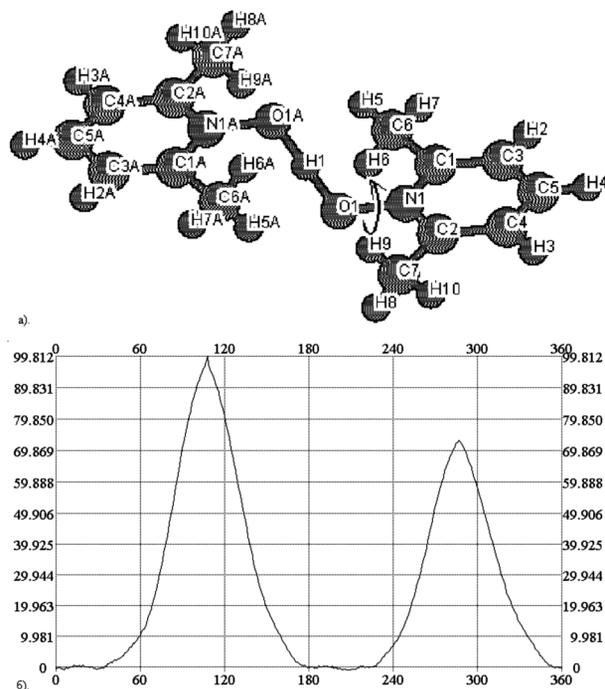


Рис. 4. Катион $(2,6\text{-Me}_2\text{PyNO})_2\text{H}^+$: А – структура катиона и направление выполняемого в эксперименте поворота, Б – полученная зависимость энергии от угла поворота

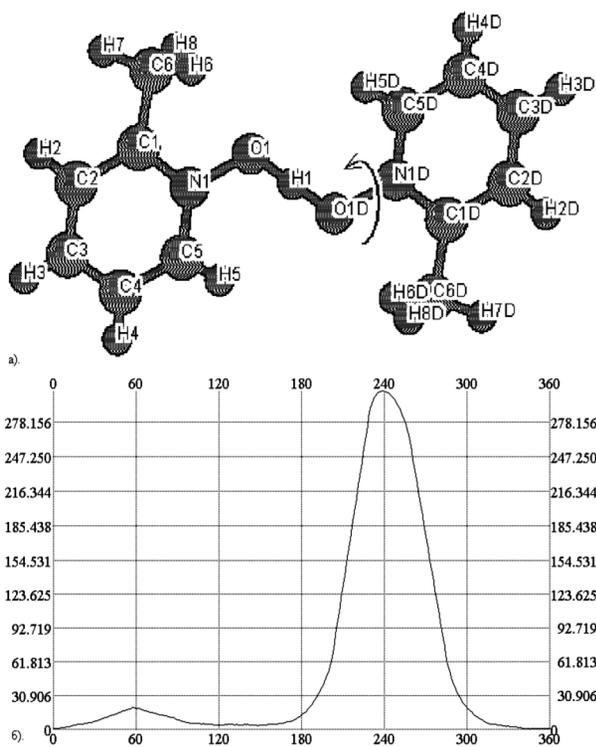


Рис. 3. Катион $(2\text{-MePyNO})_2\text{H}^+$: А – структура катиона и направление выполняемого в эксперименте поворота, Б – полученная зависимость энергии от угла поворота

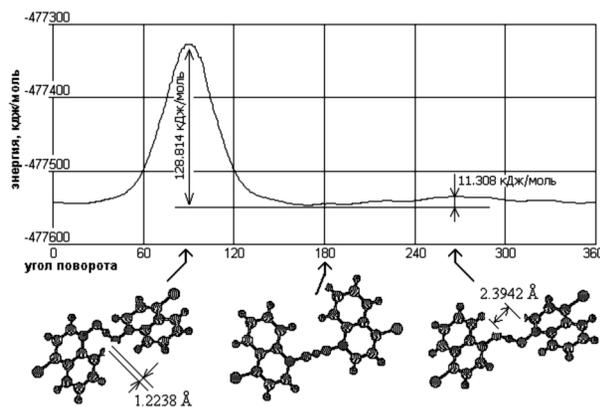


Рис. 5. Зависимость энергии иона $(4\text{-ClQO})\text{H}^+$ от угла поворота одной из хинолиновых плоскостей вокруг соответствующей связи N–O

метрические параметры такого комплекса будут соответствовать максимумам на энергетической зависимости. Поэтому мы не исключаем того, что sp^2 -гибридное состояние атома кислорода группы N–O в достаточно прочных комплексах вообще не встречается, а « $Os p^2$ »-геометрия таких комплексов (двугранный угол пиридин – N–O–A = 0° ; A – кислотный центр кислоты Брэнстеда-Лоури или Льюиса [8]) может быть характерна только для комплексов с очень слабым орбитальным взаимодействием.

* Исследования проведены в рамках реализации Программы стратегического развития на 2012–2016 годы «Университетский комплекс ПетрГУ в научно-образовательном пространстве Европейского Севера: стратегия инновационного развития».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В. П., Вапиров В. В., Нижник Я. П., Алешина Л. Л., Семенова Т. А. Изменение гибридизации атома кислорода группы N-O при комплексообразовании N-оксидов пиридинов и хинолинов с ν -акцепторами // Журнал общей химии. 2008. Т. 78. Вып. 5. С. 830–840.
2. Андреев В. П., Нижник Я. П. Исследование комплексообразования N-оксидов пиридинов и хинолинов с трифторидом бора методом протонного магнитного резонанса // Координационная химия. 2007. Т. 33. № 9. С. 703–708.
3. Андреев В. П., Нижник Я. П. Реакция N-оксида 4-нитрохинолина с хлоридом алюминия // Журнал органической химии. 2001. Т. 37. Вып. 1. С. 148–150.
4. Андреев В. П., Рыжак А. В. Активация ν -акцепторами реакций нуклеофильного замещения в N-оксиде 4-нитрохинолина // Химия гетероциклических соединений. 1999. № 11. С. 1443–1461.
5. Романов В. В., Нижник Я. П., Фофанов А. Д. Конформационный и структурный анализ трибромида бис(4-хлорхинолин-N-оксид) водорода // Журнал структурной химии (в печати).
6. Рыжак А. В., Вапиров В. В., Родина Л. Л. Молекулярные комплексы как промежуточные продукты в реакциях нуклеофильного замещения в ряду ароматических гетероциклов // Журнал органической химии. 1991. Т. 27. Вып. 5. С. 955–959.
7. Рыжак А. В., Родина Л. Л. Активация тетрацианоэтиленом реакций нуклеофильного замещения в гетероароматическом ряду // Журнал органической химии. 1994. Т. 30. Вып. 9. С. 1417–1420.
8. Albini A., Pietra S. Heterocyclic N-Oxides. Boca Raton, Ann Arbor, Boston: CRC Press, 1991. 312 p.
9. Hussain M. S. Intramolecular short hydrogen bonding. Synthesis and spectroscopic studies of pyridine N-oxide diadducts: X-ray structure of [(2,6-(CH₃)₂pyNO)₂-H][AuCl₄] // Polyhedron. 1996. 15 (4). P. 645–649.
10. Hussain M. S., Schlemper E. O. Crystal structure of hydrogenbis(pyridine N-oxide) tetrachloroaurate (III), revealing a short hydrogen bond // Journal of the Chemical Society, Dalton Trans., 1982. P. 751–755.
11. Katritzky A. R., Lagowski J. M. Chemistry of the Heterocyclic N-oxides. London; N. Y.: Acad. Press, 1971. 587 p.
12. Ochiai E. Aromatic Amine Oxides. Amsterdam: Elsevier, 1967. 444 p.
13. Speakman J. C., Muir K. W. // Croatica chemica acta. 1982. Vol. 55. P. 233.

Romanov V. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Nizhnik Ya. P., Bioo Scientific Corporation (Austin, USA)

Fofanov A. D., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

CONFORMATIONAL ANALYSIS OF CATIONIC COMPLEXES OF HETEROAROMATIC N-OXIDE

N-O group can have electron-donor or electron-acceptor properties depending on the structure of heteroaromatic N-oxides. It was suggested that the oxygen atom in complexes of this compounds can have sp³-hybridization or sp²-hybridization. To check this hypothesis, we carried out conformational analysis of four salts of heteroaromatic N-oxides: bis(pyridine-N-oxide)hydrogen bis(2-methyl-pyridine-N-oxide)hydrogen, bis(2,6-dimethylpyridine-N-oxide)hydrogen and bis(4-chloroquinolin-N-oxide)hydrogen. Since the energies corresponding to sp²-hybrid oxygen atom correspond to the maxima on the energy surface, the existence of steady adducts of N-oxides with sp²-hybridized oxygen atom in the solid phase can be questioned.

Key words: conformation, conformational analysis, heteroaromatic N-oxides, hybridization, the energy surface

REFERENCES

1. Andreev V. P., Vapirov V. V., Nizhnik Ya. P., Aleshina L. L., Semenova T. A. Hybridization change of the oxygen atom of the NO group in complexation pyridine N-oxide and quinoline with ν -acceptors [Izmenenie gibridizatsii atoma kisloroda gruppy N-O pri kompleksoobrazovanii N-oksidov piridinov i khinolinov s ν -akseptorami]. *Zhurnal obshchey khimii* [Russian journal of general chemistry]. 2008. Vol. 78. Issue 5. P. 830–840.
2. Andreev V. P., Nizhnik Ya. P. Study of the complexation of N-oxides of pyridines and quinolines with boron trifluoride by proton magnetic resonance [Issledovanie kompleksoobrazovaniya N-oksidov piridinov i khinolinov s trifloridom bora metodom protonnogo magnitnogo rezonansa]. *Koordinatsionnaya khimiya* [Russian Journal of Coordination Chemistry]. 2007. Vol. 33. № 9. P. 703–708.
3. Andreev V. P., Nizhnik Ya. P. Reaction of N-oxide 4-nitroquinoline with aluminum chloride [Reaktsiya N-oksida 4-nitrokhinolina s khloridom alyuminiya]. *Zhurnal organicheskoy khimii* [Journal of Organic Chemistry]. 2001. T. 37. Issue 1. P. 148–150.
4. Andreev V. P., Ryzhakov A. V. Activation reactions of nucleophilic substitution by ν -acceptors in the N-oxide 4-nitroquinoline [Aktivatsiya ν -akseptorami reaktsiy nukleofil'nogo zameshcheniya v N-oksidge 4-nitrokhinolina]. *Khimiya geterotsiklicheskikh soedineniy* [Chemistry of Heterocyclic Compounds]. 1999. № 11. P. 1443–1461.
5. Romanov V. V., Nizhnik Ya. P., Fofanov A. D. Conformational and structural analysis of tribromide bis(4-chloroquinolin-N-oxide) hydrogen [Konformatsionnyy i strukturnyy analiz tribromida bis(4-khlorkhinolin-N-oksid)vodoroda]. *Zhurnal strukturnoy khimii* [Journal of Structural Chemistry] (v pechati).
6. Ryzhakov A. V., Vapirov V. V., Rodina L. L. Molecular complexes as intermediates in nucleophilic substitution reactions in a series of aromatic heterocycles [Molekulyarnye kompleksy kak promezhutochnye produkty v reaktsiyakh nukleofil'nogo zameshcheniya v ryadu aromaticheskikh geterotsiklov]. *Zhurnal organicheskoy khimii* [Journal of Organic Chemistry]. 1991. Vol. 27. Issue 5. P. 955–959.
7. Ryzhakov A. V., Rodina L. L. Activation reactions of nucleophilic substitution by tetracyanoethylene on the heteroaromatic series [Aktivatsiya tetratsianoetilenom reaktsiy nukleofil'nogo zameshcheniya v geteroaromaticheskoy ryadu]. *Zhurnal organicheskoy khimii* [Journal of Organic Chemistry]. 1994. Vol. 30. Issue 9. P. 1417–1420.
8. Albini A., Pietra S. Heterocyclic N-Oxides. Boca Raton, Ann Arbor, Boston: CRC Press, 1991. 312 p.
9. Hussain M. S. Intramolecular short hydrogen bonding. Synthesis and spectroscopic studies of pyridine N-oxide diadducts: X-ray structure of [(2,6-(CH₃)₂pyNO)₂-H][AuCl₄] // Polyhedron. 1996. 15(4). P. 645–649.
10. Hussain M. S., Schlemper E. O. Crystal structure of hydrogenbis(pyridine N-oxide) tetrachloroaurate(III), revealing a short hydrogen bond // Journal of the Chemical Society, Dalton Trans., 1982. P. 751–755.
11. Katritzky A. R., Lagowski J. M. Chemistry of the Heterocyclic N-oxides. London; N. Y.: Acad. Press, 1971. 587 p.
12. Ochiai E. Aromatic Amine Oxides. Amsterdam: Elsevier, 1967. 444 p.
13. Speakman J. C., Muir K. W. // Croatica chemica acta. 1982. Vol. 55. P. 233.

Поступила в редакцию 07.10.2014

ВАЛЕРИЙ МИХАЙЛОВИЧ ЛЕВИН

доктор физико-математических наук, профессор, научный сотрудник, Мексиканский институт нефти (Мехико, Мексика)
vlevine@imp.mx

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОБ ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ В ПОРИСТОЙ СРЕДЕ С ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ*

Решается задача об изолированной неоднородности в однородной изотропной среде с электрокинетическими свойствами. Выводятся интегральные уравнения для электромеханических полей внутри и в окрестности неоднородности. Для эллипсоидальной неоднородности эти уравнения решаются в явной аналитической форме.

Ключевые слова: электрокинетическая среда, изолированная неоднородность, электромеханические поля, эллипсоидальная неоднородность

Одной из важнейших задач фильтрации жидкости в случайно неоднородных пористых средах является замена реальной неоднородной среды на однородную с некоторыми эффективными (макроскопическими) свойствами и эквивалентной реакцией на внешние воздействия (задача гомогенизации). Решение задачи об изолированной неоднородности в неограниченной однородной среде является базовой для многих гомогенизационных схем [5]. В настоящей работе рассматривается задача об изолированной неоднородности в среде, обладающей электрокинетическими свойствами. Пусть в такой среде имеется замкнутая область V (включение) с другими электрокинетическими характеристиками. Векторы скорости фильтрации жидкости $U_i(x)$ и плотности электрического тока $I_i(x)$ связаны в среде с неоднородностью с векторами градиента давления $T_i(x)$ и электрического поля $E_i(x)$ линейными соотношениями [2] (x – произвольная точка в трехмерной среде)

$$U_i(x) = -k_{ij}(x)T_j(x) - \alpha_{ij}(x)E_j(x), \tag{1}$$

$$I_i(x) = -\alpha_{ij}(x)T_j(x) - \sigma_{ij}(x)E_j(x)$$

и удовлетворяют следующим дифференциальным уравнениям

$$\partial_k U_k(x) = 0, \quad \partial_k I_k(x) = 0. \tag{2}$$

В уравнениях (1) и (2) обозначено: $k_{ij}(x)$ – отношение тензора проницаемости к коэффициенту вязкости жидкости, $\sigma_{ij}(x)$ – тензор электропроводности и $\alpha_{ij}(x)$ – электроосмотический тензор, $\partial_k \equiv \partial / \partial x_k$. Эти тензоры представляют собой кусочно-постоянные функции координат, принимающие значения $k_{ij}, \alpha_{ij}, \sigma_{ij}$, если $x \in V$, и значения $k_{ij}^0, \alpha_{ij}^0, \sigma_{ij}^0$, если $x \notin V$.

Обозначим через $V(x)$ характеристическую функцию области V , занимаемой включением:

$$V(x) = \begin{cases} 1 & (x \in V) \\ 0 & (x \notin V). \end{cases} \tag{3}$$

Эта функция позволяет представить тензоры $k_{ij}(x), \alpha_{ij}(x), \sigma_{ij}(x)$ в виде следующих сумм

$$\begin{aligned} k_{ij}(x) &= k_{ij}^0 + k_{ij}^1 V(x), & k_{ij}^1 &= k_{ij} - k_{ij}^0, \\ \alpha_{ij}(x) &= \alpha_{ij}^0 + \alpha_{ij}^1 V(x), & \alpha_{ij}^1 &= \alpha_{ij} - \alpha_{ij}^0, \\ \sigma_{ij}(x) &= \sigma_{ij}^0 + \sigma_{ij}^1 V(x), & \sigma_{ij}^1 &= \sigma_{ij} - \sigma_{ij}^0. \end{aligned} \tag{4}$$

Пусть $p(x)$ и $\psi(x)$ представляют собой скалярные потенциалы полей $T_i(x)$ и $E_i(x)$: $T_i(x) = \partial_i p(x), E_i(x) = \partial_i \psi(x)$. Подставляя соотношения (1) в уравнения (2) с учетом формул (4), можем записать

$$k_{ij}^0 \partial_i \partial_j p(x) + \alpha_{ij}^0 \partial_i \partial_j \psi(x) = f(x), \tag{5}$$

$$\alpha_{ij}^0 \partial_i \partial_j p(x) + \sigma_{ij}^0 \partial_i \partial_j \psi(x) = \phi(x),$$

где обозначено

$$f(x) = \partial_i V(x) [k_{ij}^1 \partial_j p(x) + \alpha_{ij}^1 \partial_j \psi(x)], \tag{6}$$

$$\phi(x) = \partial_i V(x) [\alpha_{ij}^1 \partial_j p(x) + \sigma_{ij}^1 \partial_j \psi(x)].$$

Система дифференциальных уравнений (5) эквивалентна следующей системе интегральных уравнений

$$p(x) = p_0(x) + \int G(x-x') f(x') dx' + \int \Gamma(x-x') \phi(x') dx', \tag{7}$$

$$\psi(x) = \psi_0(x) + \int \Gamma(x-x') f(x') dx' + \int g(x-x') \phi(x') dx'.$$

В этих уравнениях $p_0(x)$ и $\psi_0(x)$ – поровое давление и потенциал электрического поля, которые были бы в среде без неоднородности при заданных условиях на бесконечности, $G(x), \Gamma(x), g(x)$ – компоненты функции Грина системы (7), удовлетворяющие системе уравнений

$$\begin{aligned} k_{ij}^0 \partial_i \partial_j G(x) + \alpha_{ij}^0 \partial_i \partial_j \Gamma(x) &= -\delta(x), \\ \alpha_{ij}^0 \partial_i \partial_j G(x) + \sigma_{ij}^0 \partial_i \partial_j \Gamma(x) &= 0 \end{aligned} \tag{8}$$

$$k_{ij}^0 \partial_i \partial_j \Gamma(x) + \alpha_{ij}^0 \partial_i \partial_j g(x) = 0, \tag{9}$$

$$\alpha_{ij}^0 \partial_i \partial_j \Gamma(x) + \sigma_{ij}^0 \partial_i \partial_j g(x) = -\delta(x),$$

где $\delta(x)$ – функция Дирака.

Если основная среда изотропна, то есть

$$k_{ij}^0 = k_0 \delta_{ij}, \quad \alpha_{ij}^0 = \alpha_0 \delta_{ij}, \quad \sigma_{ij}^0 = \sigma_0 \delta_{ij}, \quad (10)$$

то компоненты функции Грина имеют вид

$$G(x) = \frac{\sigma_0}{\Delta_0} \frac{1}{4\pi r}, \quad \Gamma(x) = -\frac{\alpha_0}{\Delta_0} \frac{1}{4\pi r}, \quad (11)$$

$$g(x) = \frac{k_0}{\Delta_0} \frac{1}{4\pi r}, \quad \Delta_0 = k_0 \sigma_0 - \alpha_0^2, \quad r = |x|.$$

Пусть материал включения также изотропен:

$$k_{ij}^1 = k_1 \delta_{ij}, \quad \alpha_{ij}^1 = \alpha_1 \delta_{ij}, \quad \sigma_{ij}^1 = \sigma_1 \delta_{ij}, \quad (12)$$

$$k_1 = k - k_0, \quad \alpha_1 = \alpha - \alpha_0, \quad \sigma_1 = \sigma - \sigma_0.$$

Дифференцируя обе стороны уравнений (7) по координатам, получим

$$T_i(x) = T_i^0(x) + \int_V K_{ij}(x-x') [d_1 T_j(x') + d_2 E_j(x')] dx', \quad (13)$$

$$E_i(x) = E_i^0(x) + \int_V K_{ij}(x-x') [d_3 T_j(x') + d_4 E_j(x')] dx'. \quad (14)$$

Здесь обозначено:

$$T_i^0(x) = \partial_i p_0(x), \quad E_i^0(x) = \partial_i \psi_0(x),$$

$$K_{ij}(x) = \partial_i \partial_j \left(\frac{1}{4\pi r} \right), \quad (15)$$

$$d_1 = \frac{1}{\Delta_0} (\sigma_0 k_1 - \alpha_0 \alpha_1), \quad d_2 = \frac{1}{\Delta_0} (\sigma_0 \alpha_1 - \sigma_1 \alpha_0),$$

$$d_3 = \frac{1}{\Delta_0} (k_0 \alpha_1 - \alpha_0 k_1), \quad d_4 = \frac{1}{\Delta_0} (k_0 \sigma_1 - \alpha_1 \alpha_0).$$

Если $x \in V$, то уравнения (13) и (14) представляют собой систему уравнений для определения полей $T_i(x)$ и $E_i(x)$ внутри V . Если эти поля внутри V известны, то поля $T_i(x)$ и $E_i(x)$ вне этой области восстанавливаются из уравнений (13) и (14) однозначно. Таким образом, поля $T_i(x)$ и $E_i(x)$ внутри V являются основными неизвестными задачи. Заметим, что ядро в этих интегральных уравнениях – формально неинтегрируемая функция с особенностью $|x|^{-3}$ в нуле. Для того чтобы придать смысл этому интегралу, будем рассматривать $K_{ij}(x)$ как обобщенную функцию. Регуляризация интегралов, связанных с действием интегрального оператора с ядром $K_{ij}(x)$ на гладкие финитные функции, приведена, в частности, в [1].

Введем следующие символические векторы и матрицы:

$$\mathbf{F}(x) = \begin{bmatrix} T_i(x) \\ E_i(x) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F}^0(x) = \begin{bmatrix} T_i^0(x) \\ E_i^0(x) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{M}^0 = \frac{1}{\Delta_0} \begin{bmatrix} \sigma_0 & -\alpha_0 \\ -\alpha_0 & k_0 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$\mathbf{L}^1 = \begin{bmatrix} k_1 & \alpha_1 \\ \alpha_1 & \sigma_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{K}(x) = \begin{bmatrix} K_{ij}(x) & 0 \\ 0 & K_{ij}(x) \end{bmatrix}.$$

Тогда два уравнения (13) и (14) можно записать в виде одного уравнения

$$\mathbf{F}(x) = \mathbf{F}^0(x) + \int_V \mathbf{K}(x-x') \mathbf{M}^0 \mathbf{L}^1 \mathbf{F}(x') dx'. \quad (17)$$

Уравнение, аналогичное уравнению (17), можно получить и для пары функций $\mathbf{J}(x) = [U_i(x), I_i(x)]$ в однородной среде с изолированной неоднородностью. Введем для этой цели соотношения, обратные (1), в той же символической краткой форме

$$\mathbf{F}(x) = \mathbf{M}(x) \mathbf{J}(x), \quad \mathbf{M}(x) = [\mathbf{L}(x)]^{-1}, \quad (18)$$

$$\mathbf{L}(x) = \begin{bmatrix} k(x) & \alpha(x) \\ \alpha(x) & \sigma(x) \end{bmatrix}.$$

Умножая теперь обе стороны уравнения (17) на \mathbf{L}^0 и используя (18), получим

$$\mathbf{L}^0 \mathbf{M}(x) \mathbf{J}(x) = \mathbf{J}^0(x) + \int_V \mathbf{L}^0 \mathbf{K}(x-x') \mathbf{M}^0 \mathbf{L}^1 \mathbf{M}(x') \mathbf{J}(x') dx'. \quad (19)$$

С учетом соотношений

$$\mathbf{L}^0 \mathbf{M} = \mathbf{L}^0 (\mathbf{M}^0 + \mathbf{M}^1) = \mathbf{I}^0 + \mathbf{L}^0 \mathbf{M}^1, \quad \mathbf{M}^1 = \mathbf{M} - \mathbf{M}^0,$$

$$\mathbf{L}^1 \mathbf{M} = (\mathbf{L} - \mathbf{L}^0) \mathbf{M} = \mathbf{I}^0 + \mathbf{L}^0 \mathbf{M}^1 = -\mathbf{L}^0 \mathbf{M}^1, \quad (20)$$

где \mathbf{I}^0 – единичная 2×2 -матрица, уравнение (19) можно переписать следующим образом

$$\mathbf{J}(x) = \mathbf{J}^0(x) - \int_V \mathbf{S}(x-x') \mathbf{L}^0 \mathbf{M}^1 \mathbf{J}(x') dx', \quad (21)$$

$$\mathbf{S}(x) = \begin{bmatrix} S_{ij}(x) & 0 \\ 0 & S_{ij}(x) \end{bmatrix}, \quad S_{ij}(x) = \delta_{ij} \delta(x) + K_{ij}(x).$$

В общем случае уравнения (19) и (21) могут быть решены лишь численно (эффективный метод численного решения уравнений такого типа описан в [4]). Для включений эллипсоидальной формы и полиномиальных внешних полей эти уравнения имеют явное аналитическое решение. В этом случае поля внутри включения также полиномы той же степени, что и внешние (теорема о полиномиальной консервативности, см. [3]). В частности, для однородных внешних полей поля $\mathbf{F}^+ = [T_i^+, E_i^+]$ и $\mathbf{J}^+ = [U_i^+, I_i^+]$ внутри эллипсоидального включения также однородны и определяются выражениями

$$\mathbf{F}^+ = \Lambda^F \mathbf{F}^0, \quad \Lambda^F = (\mathbf{I} + \mathbf{A} \mathbf{M}^0 \mathbf{L}^1)^{-1}, \quad (22)$$

$$\mathbf{J}^+ = \Lambda^J \mathbf{J}^0, \quad \Lambda^J = (\mathbf{I} + \mathbf{B} \mathbf{L}^0 \mathbf{M}^1)^{-1}, \quad (23)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} A_{ij} & 0 \\ 0 & A_{ij} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} B_{ij} & 0 \\ 0 & B_{ij} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{I} = \begin{bmatrix} \delta_{ij} & 0 \\ 0 & \delta_{ij} \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Здесь A_{ij} и B_{ij} – тензоры с постоянными компонентами. В системе координат, связанной с главными осями эллипсоида, эти тензоры представляются в виде (по индексу i не суммировать!)

$$A_{ik} = A_i \delta_{ik}, \quad B_{ik} = \delta_{ik} - A_{ik} \quad (25)$$

$$A_i = \frac{a_1 a_2 a_3}{2} \int_0^\infty \frac{d\xi}{(a_i^2 + \xi) \sqrt{(a_1^2 + \xi)(a_2^2 + \xi)(a_3^2 + \xi)}}, \quad (26)$$

где a_1, a_2, a_3 – полуоси эллипсоида. В развернутой форме формулы (22) и (23) имеют вид

$$\begin{aligned} T_i^+ &= D_{ik}^{-1} [(\delta_{km} + d_4 A_{km}) T_m^0 - d_2 A_{km} E_m^0], \\ E_i^+ &= D_{ik}^{-1} [-d_2 A_{km} T_m^0 + (\delta_{km} + d_1 A_{km}) E_m^0] \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} U_i^+ &= C_{ik}^{-1} [(\delta_{km} + c_4 B_{km}) U_m^0 - c_2 B_{km} I_m^0], \\ I_i^+ &= C_{ik}^{-1} [-c_3 B_{km} U_m^0 + (\delta_{km} + c_1 B_{km}) I_m^0]. \end{aligned} \quad (28)$$

Здесь обозначено

$$D_{ik} = (\delta_{ip} + d_1 A_{ip})(\delta_{pk} + d_4 A_{pk}) - d_2 d_3 A_{ip} A_{pk}, \quad (29)$$

$$C_{ik} = (\delta_{ip} + c_1 B_{ip})(\delta_{pk} + c_4 B_{pk}) - c_2 c_3 B_{ip} B_{pk},$$

$$c_1 = k_0 s_1 - \alpha_0 \beta_1, \quad c_2 = \alpha_0 \kappa_1 - k_0 \beta_1,$$

$$c_3 = \alpha_0 s_1 - \sigma_0 \beta_1, \quad c_4 = \sigma_0 \kappa_1 - \alpha_0 \beta_1,$$

$$s_1 = \frac{\sigma}{\Delta} - \frac{\sigma_0}{\Delta_0}, \quad \beta_1 = \frac{\alpha}{\Delta} - \frac{\alpha_0}{\Delta_0}, \quad (30)$$

$$\kappa_1 = \frac{k}{\Delta} - \frac{k_0}{\Delta_0}, \quad \Delta = k\sigma - \alpha^2.$$

Полученные решения покрывают широкий спектр форм неоднородностей: сфера, цилиндр, эллиптическая игла, диск. В частности, для сферической неоднородности $A_{ij} = \delta_{ij}/3$, $B_{ij} = 2\delta_{ij}/3$ и формулы (27) и (28) преобразуются в следующие

$$\begin{aligned} T_i^+ &= \frac{1}{D} \left[\left(1 + \frac{d_4}{3} \right) T_i^0 - \frac{d_2}{3} E_i^0 \right], \\ E_i^+ &= \frac{1}{D} \left[-\frac{d_3}{3} T_i^0 + \left(1 + \frac{d_1}{3} \right) E_i^0 \right], \\ D &= 1 + \frac{d_1 + d_4}{3} + \frac{k_1 \sigma_1 - \alpha_1^2}{9\Delta_0}, \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} U_i^+ &= \frac{1}{C} \left[\left(1 + \frac{2c_4}{3} \right) U_i^0 - \frac{2c_2}{3} I_i^0 \right], \\ I_i^+ &= \frac{1}{C} \left[-\frac{2c_3}{3} U_i^0 + \left(1 + \frac{2c_1}{3} \right) I_i^0 \right], \\ C &= 1 + \frac{2}{3}(c_1 + c_4) + \frac{4}{9}\Delta_0(s_1 \kappa_1 - \beta_1^2). \end{aligned} \quad (32)$$

Таким образом, при равенстве «совместной» постоянной α нулю полученные формулы распадутся на известные решения о неоднородности в среде с гидравлической и электрической проницаемостями.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михлин С. Г. Многомерные сингулярные интегралы и интегральные уравнения. М., 1962. 254 с.
2. Adler P., Mityushev V. Effective medium approximation and exact formulae for electrokinetic phenomena in porous media // J. Phys. A: Math Gen. 2003. № 36. P. 391–404.
3. Eshelby J. The determination of the elastic fields of an elliptical inclusion, and related problems // Proc. of the Royal Soc. of London. 1957. A241. P. 376–391.
4. Kanaun S. K., Levin V. M. Self-Consistent Methods for Composites. Vol. 1. Static Problems. Springer, 2008. 376 p.
5. Kanaun S. K., Levin V. M. Effective field method in the theory of heterogeneous media // Kachanov M., Sevostianov I. (Eds.). Effective Properties of Heterogeneous Materials. Springer, 2013. P. 199–283.

Levin V. M., Mexican Oil Institute (Mexico City, Mexico)

ON PROBLEM SOLUTION OF ISOLATED INHOMOGENEITY IN POROUS MEDIUM UNDERGOING ELECTROKINETIC PHENOMENA

The problem of isolated inhomogeneity in porous medium with electro-kinetic phenomena is solved. The integral equations for the electro-mechanical fields in such medium are developed. For the ellipsoidal inhomogeneity these equations are solved in an explicit analytical form.

Keywords: electrokinetic medium; isolated heterogeneity; electromechanical field; ellipsoidal heterogeneity.

REFERENCES

1. Mikhlin S. G. Multi-dimensional singular integrals and integral equations. Moscow, 1962. 254 p.
2. Adler P., Mityushev V. Effective medium approximation and exact formulae for electrokinetic phenomena in porous media // J. Phys. A: Math Gen. 2003. № 36. P. 391–404.
3. Eshelby J. The determination of the elastic fields of an elliptical inclusion, and related problems // Proc. of the Royal Soc. of London. 1957. A241. P. 376–391.
4. Kanaun S. K., Levin V. M. Self-Consistent Methods for Composites. Vol. 1. Static Problems. Springer, 2008. 376 p.
5. Kanaun S. K., Levin V. M. Effective field method in the theory of heterogeneous media // Kachanov M., Sevostianov I. (Eds.) Effective Properties of Heterogeneous Materials. Springer, 2013. P. 199–283.

Поступила в редакцию 11.07.2014

ЕЛЕНА АРКАДЬЕВНА АНДРЕЕВА

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерной безопасности и математических методов управления математического факультета, Тверской государственной университет (Тверь, Российская Федерация)

andreeva.tvgu@yandex.ru

ИРИНА СЕРГЕЕВНА МАЗУРОВА

аспирант кафедры компьютерной безопасности и математических методов управления математического факультета, Тверской государственной университет (Тверь, Российская Федерация)

IrinaSMazurova@gmail.com

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ*

Решается задача моделирования и обучения искусственной нейронной сети достаточно общей топологии, динамика которой описывается системой интегро-дифференциальных уравнений. Задача обучения искусственной нейронной сети рассматривается как задача оптимального управления с нефиксированным временем. Сформулированы необходимые условия оптимальности весовых коэффициентов искусственной нейронной сети и внешнего управляющего воздействия с учетом заданных ограничений и вида функционала. Исходная задача сведена к дискретной задаче оптимального управления, которая решается на основе методологии быстрого автоматического дифференцирования. Проведен анализ влияния параметров задачи на оптимальное решение.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, интегро-дифференциальные уравнения, оптимальное управление

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия большое внимание уделяется исследованию искусственных нейронных сетей, которые эффективно используются в различных системах управления, медицине и экономике. В статье рассмотрена проблема моделирования и обучения искусственных нейронных сетей с достаточно общей топологией, описываемой системой интегро-дифференциальных уравнений. При этом целью обучения является минимизация ошибки обучения, энергии сети и времени обучения, то есть решается многокритериальная задача. Для решения этой задачи используется аппарат математической теории оптимального управления, с помощью которого находятся оптимальные значения весовых коэффициентов дискретной нейронной сети. Заметим, что таким способом может быть решен большой класс задач, включающих создание ассоциативной памяти, модель распознавания образов, прогнозирования и т. д.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим математическую модель нейронной сети, в которой динамика отдельного нейрона описывается на основе биологических предположений [1], [5]. Искусственная нейронная сеть состоит из нейронов, каждый из которых взаимодействует со всеми остальными нейронами. Воздействие j -го нейрона на i -й нейрон в момент времени t характеризуется весовым коэффициентом $\omega_{ij}(t)$. Пусть $x_i(t)$ – функция, характеризу-

ющая состояние i -го нейрона в момент времени t , $i = \overline{1, n}$. Динамика искусственной нейронной сети описывается системой интегро-дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_i(t) = -\beta_i x_i(t) + f_i \left(\int_0^t \sum_{j=1}^n \omega_{ij}(z) x_j(z) dz \right) + \gamma_i u_i(t), \quad (1)$$

$$t \in [0, T]$$

с начальными условиями $x_i(0) = \theta_i$, $i = \overline{1, n}$,

где β_i – параметр, определяющий скорость затухания i -го нейрона при отсутствии внешнего воздействия, f_i – функция активации, при этом $\gamma_i u_i(t)$ – внешнее воздействие на нейрон в момент времени t . Коэффициенты ε_p , β_p , γ_p , $i, j = \overline{1, n}$, – заданные неотрицательные параметры модели.

Весовые коэффициенты нейронной сети $\omega_{ij}(t)$ и внешние воздействия $u_i(t)$ являются функциями управления и ограничены

$$|\omega_{ij}(t)| \leq a_{ij}, \quad |u_i(t)| \leq a_i, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad \text{п. в. } t \in [0, T] \quad (3)$$

где a_{ij}, a_i , $i, j = \overline{1, n}$, заданные положительные параметры модели, полагаем $\omega_{ij}(t) \equiv 0$.

Задача оптимального управления заключается в минимизации функционала:

$$J(\omega, u) = \int_0^T \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \omega_{ij}^2(t) + \sigma_i u_i^2(t) \right) dt + \sum_{i=1}^n M_i (x_i(T) - A_i)^2 + T, \quad (4)$$

где первое слагаемое характеризует энергию рассматриваемой нейронной сети, зависящую

от текущей конфигурации сети, α_{ij} – параметр, определяющий меру влияния значения весового коэффициента между нейронами i и j и на минимизируемый функционал, второе слагаемое характеризует ошибку обучения нейронной сети, M_i – параметр, определяющий меру воздействия этого слагаемого на минимизируемый функционал, A – целевой вектор.

Задача оптимального управления заключается в том, чтобы обучить нейронную сеть таким образом, чтобы минимизировать функционал (4) и построить оптимальные значения весовых коэффициентов, внешнего управляющего воздействия. Задача оптимального управления с нефиксированным временем процесса была рассмотрена в работе [2] для модели искусственной нейронной сети, описываемой системой дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом.

НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Особенностью поставленной задачи является большая размерность управляющих функций, наличие распределенного запаздывания и нефиксированное время процесса.

Для решения задачи (1)–(4) перейдем от задачи оптимального управления с нефиксированным временем процесса к задаче с фиксированным временем процесса. Для этого осуществим следующую параметризацию:

$$t(\tau) = \xi\tau, \quad \tau \in [0, T_0], \quad t(T_0) = \xi T_0 = T$$

и введем обозначения:

$$x(t(\tau)) = \tilde{x}(\tau), \quad \omega(t(\tau)) = \tilde{\omega}(\tau), \quad u(t(\tau)) = \tilde{u}(\tau).$$

В этих обозначениях задача оптимального управления примет вид:

$$J(\tilde{x}(\tau), \tilde{\omega}(\tau), \tilde{u}(\tau), t(\tau)) = \int_0^{T_0} \xi \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{\omega}_{ij}(\tau))^2 + \sigma_i \tilde{u}_i(\tau)^2 \right) d\tau + \sum_{i=1}^n M_i (\tilde{x}_i(T_0) - A_i)^2 + t(T_0), \quad (5)$$

$$\dot{\tilde{x}}_i(\tau) = -\xi\beta_i \tilde{x}_i(\tau) + \xi f_i \left(\xi \int_0^\tau \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}(\tilde{z}) \tilde{x}_j(\tilde{z}) d\tilde{z} \right) + \xi \gamma_i \tilde{u}_i(\tau), \quad i = \overline{1, n}, \quad \dot{t}(\tau) = \xi.$$

Введем новые переменные:

$$\tilde{y}_i(\tau) = \xi \int_0^\tau \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}(\tilde{z}) \tilde{x}_j(\tilde{z}) d\tilde{z}, \quad i = \overline{1, n},$$

такие что

$$\dot{\tilde{y}}_i(\tau) = \xi \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}(\tau) \tilde{x}_j(\tau), \quad i = \overline{1, n}, \quad \tilde{y}_i(0) = 0.$$

В этих переменных исходная система примет вид (6)–(8):

$$\dot{\tilde{x}}_i(\tau) = -\xi\beta_i \tilde{x}_i(\tau) + \xi f_i(\tilde{y}_i(\tau)) + \xi \gamma_i \tilde{u}_i(\tau), \quad i = \overline{1, n}, \quad (6)$$

$$\dot{\tilde{y}}_i(\tau) = \xi \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}(\tau) \tilde{x}_j(\tau), \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

$$\dot{t}(\tau) = \xi. \quad (8)$$

Построим функцию Понтрягина:

$$H(t, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{\omega}, \tilde{u}, \xi, r, p, s, \lambda_0) = -\lambda_0 \xi \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{\omega}_{ij}(\tau))^2 + \sigma_i \tilde{u}_i(\tau)^2 \right) + \sum_{i=1}^n p_i(\tau) (-\xi\beta_i \tilde{x}_i(\tau) + \xi f_i(\tilde{y}_i(\tau)) + \xi \gamma_i \tilde{u}_i(\tau)) + \sum_{i=1}^n r_i(\tau) \left(\xi \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}(\tau) \tilde{x}_j(\tau) \right) + s(\tau) \xi. \quad (9)$$

Теорема. Пусть $\tilde{\omega}_{ij}(\tau)$, $i, j = \overline{1, n}$ – оптимальные весовые коэффициенты, $\tilde{u}_i(\tau)$, $i = \overline{1, n}$ – оптимальные управляющие внешние воздействия, ξ – оптимальное значение параметра, α_{ij} и σ_i отличны от нуля, тогда

$$\tilde{\omega}_{ij}(\tau) = \begin{cases} a_{ij}, & \Phi_{ij}(\tau) > a_{ij} \\ \Phi_{ij}(\tau), & |\Phi_{ij}(\tau)| \leq a_{ij}, \quad i, j = \overline{1, n}, \\ -a_{ij}, & \Phi_{ij}(\tau) < -a_{ij} \end{cases} \quad (10)$$

где

$$\Phi_{ij}(\tau) = \frac{r_i(\tau) \tilde{x}_j(\tau)}{2\lambda_0 \alpha_{ij}}, \quad i, j = \overline{1, n},$$

$$\tilde{u}_i(\tau) = \begin{cases} a_i, & \Psi_i(\tau) > a_i \\ \Psi_i(\tau), & |\Psi_i(\tau)| \leq a_i, \quad i = \overline{1, n}, \\ -a_i, & \Psi_i(\tau) < -a_i \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\Psi_i(\tau) = \frac{p_i(\tau) \gamma_i}{2\lambda_0 \sigma_i}, \quad i = \overline{1, n},$$

$$\frac{\partial H}{\partial \xi} = -\lambda_0 \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{\omega}_{ij}(\tau))^2 + \sigma_i \tilde{u}_i(\tau)^2 \right) + \sum_{i=1}^n p_i(\tau) (-\beta_i \tilde{x}_i(\tau) + f_i(\tilde{y}_i(\tau)) + \gamma_i \tilde{u}_i(\tau)) + \sum_{i=1}^n r_i(\tau) \left(\sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}(\tau) \tilde{x}_j(\tau) \right) + s(\tau) = 0, \quad (12)$$

а система дифференциальных уравнений для сопряженных функций имеет вид (13):

$$\dot{p}_i(\tau) = \xi p_i(\tau) \beta_i - \xi \sum_{j=1}^n r_j(\tau) \tilde{\omega}_{ji}(\tau), \quad i = \overline{1, n} \quad (13)$$

$$\dot{r}_i(\tau) = -\xi p_i(\tau) \frac{\partial f(\tilde{y}_i)}{\partial \tilde{y}_i}, \quad \dot{s}(\tau) = 0,$$

с условием трансверсальности на правом конце (14):

$$p_i(T_0) = -2\lambda_0 M_i (\tilde{x}_i(T_0) - A_i), \quad i = \overline{1, n} \\ r_i(T_0) = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad s(T_0) = -\lambda_0. \quad (14)$$

ДИСКРЕТНАЯ ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Для определения оптимального решения рассмотрим дискретную аппроксимацию начальной задачи, в которой используется правило левых

прямоугольников для аппроксимации интеграла и схема Эйлера аппроксимации производных. Вводя следующие обозначения $\Delta\tau = T_0 / q$, $\tau_k = k\Delta\tau$, $t^q = T_0$, $\tilde{x}_i^k = \tilde{x}_i(\tau_k)$, $\tilde{y}_i^k = \tilde{y}_i(\tau_k)$, $\tilde{\omega}_{ij}^k = \tilde{\omega}_{ij}(\tau_k)$, $\tilde{u}_i^k = \tilde{u}_i(\tau_k)$, $i, j = \overline{1, n}$, $k = \overline{0, q-1}$, построим дискретную задачу оптимального управления, которая состоит в минимизации функции:

$$I(t, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{\omega}, \tilde{u}, \xi) = \Delta\tau\xi \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{\omega}_{ij}^k)^2 + \sigma_i \tilde{u}_i^{k2}) + \sum_{i=1}^n M_i (\tilde{x}_i^q - A_i)^2 + t^q, \quad (15)$$

при ограничениях

$$\tilde{x}_i^{k+1} = \tilde{x}_i^k - \Delta\tau\xi\beta_i\tilde{x}_i^k + \Delta\tau\xi f_i(\tilde{y}_i^k) + \Delta\tau\xi\gamma_i\tilde{u}_i^k, \quad (16)$$

$$\tilde{y}_i^{k+1} = \tilde{y}_i^k + \Delta\tau\xi \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}^k \tilde{x}_j^k,$$

$$t^{k+1} = t^k + \Delta\tau\xi,$$

$$i = \overline{1, n}, k = \overline{0, q-1}.$$

На функции управления наложены ограничения

$$|\omega_{ij}^k| \leq a_{ij}, \omega_{ii}^k \equiv 0, |u_i^k| \leq a_i, \quad (17)$$

$$i, j = \overline{1, n}, k = \overline{0, q-1}.$$

Для решения задачи (15)–(17) в работе используется методология быстрого автоматического дифференцирования, разработанная в ВЦ РАН под руководством Ю. Г. Евтушенко, позволяющая с единых позиций определять градиенты для явно и неявно определенных функций и для вычислительных процессов, которые являются результатом дискретизации непрерывных систем, описываемых дифференциальными и интегродифференциальными уравнениями [4]. В соответствии с методологией быстрого автоматического дифференцирования введем множители Лагранжа p , r и s , тогда функция Лагранжа для данной задачи может быть представлена следующим выражением

$$L(t, \tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{\omega}, \tilde{u}, \xi, r, p, s, \lambda_0) = \lambda_0 \Delta\tau\xi \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{\omega}_{ij}^k)^2 + \sigma_i \tilde{u}_i^{k2}) + \lambda_0 t^q + \lambda_0 \sum_{i=1}^n M_i (\tilde{x}_i^q - A_i)^2 + \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{i=1}^n p_i^{k+1} (\tilde{x}_i^{k+1} - \tilde{x}_i^k + \Delta\tau\xi\beta_i\tilde{x}_i^k - \Delta\tau\xi f_i(\tilde{y}_i^k) - \Delta\tau\xi\gamma_i\tilde{u}_i^k) + \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{i=1}^n r_i^{k+1} (\tilde{y}_i^{k+1} - \tilde{y}_i^k - \Delta\tau\xi \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}^k \tilde{x}_j^k) + \sum_{k=0}^{q-1} s^{k+1} (t^{k+1} - t^k - \Delta\tau\xi).$$

Градиент минимизируемой функции

$$\frac{\partial L}{\partial \tilde{u}_i^m} = 2\lambda_0 \Delta\tau\xi \sigma_i \tilde{u}_i^m - \Delta\tau\xi \gamma_i p_i^{m+1}, \quad (18)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \tilde{\omega}_{ij}^m} = 2\lambda_0 \Delta\tau\xi \alpha_{ij} \tilde{\omega}_{ij}^m - \Delta\tau\xi r_i^{m+1} \tilde{x}_j^m, \quad (19)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \xi} = \lambda_0 \Delta\tau \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\tilde{\omega}_{ij}^k)^2 + \sigma_i \tilde{u}_i^{k2}) + \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{i=1}^n p_i^{k+1} (\Delta\tau\xi\beta_i\tilde{x}_i^k - \Delta\tau\xi f_i(\tilde{y}_i^k) - \Delta\tau\xi\gamma_i\tilde{u}_i^k) + \sum_{k=0}^{q-1} \sum_{i=1}^n r_i^{k+1} (\Delta\tau \sum_{j=1}^n \tilde{\omega}_{ij}^k \tilde{x}_j^k) - \sum_{k=0}^{q-1} s^{k+1} \Delta\tau$$

$$l, j = \overline{1, n}, k, m = \overline{0, q-1},$$

где

$$p_i^m = p_i^{m+1} - \Delta\tau\xi p_i^{m+1} \beta_i + \Delta\tau\xi \sum_{j=1}^n r_j^{m+1} \tilde{\omega}_{ji}^m, \quad (21)$$

$$p_i^q = -2\lambda_0 M_i (\tilde{x}_i^q - A_i), \quad (22)$$

$$r_i^m = \Delta\tau\xi p_i^{m+1} \frac{\partial f_i(\tilde{y}_i^m)}{\partial \tilde{y}_i^m} + r_i^{m+1}, r_i^q = 0, \quad (23)$$

$$s^m = s^{m+1}, s^q = -\lambda_0. \quad (24)$$

На основе быстрого автоматического дифференцирования разработан комплекс программ построения оптимального управления и проведен численный эксперимент, результаты которого представлены ниже. Заметим, что основное вычислительное время при расчете градиента по формулам (18)–(20) требуется на нахождение векторов p и r , для этого необходимо решить 2 системы уравнений с $q \cdot (n^2 + n)$ неизвестными.

Проведено исследование зависимости результатов работы метода от параметров задачи.

На рис. 1–2 представлены функции, соответствующие оптимальному состоянию нейронной сети, $\tilde{x}_i(t)$, $i = \overline{1, 3}$, и оптимальные весовые коэффициенты, $\tilde{\omega}_{ij}(t)$, $i, j = \overline{1, 3}$. Целью работы нейронной сети является перевод ее из состояния $x_0 = (2, 1, 0)$ в состояние $A = (1, 0, 5)$.

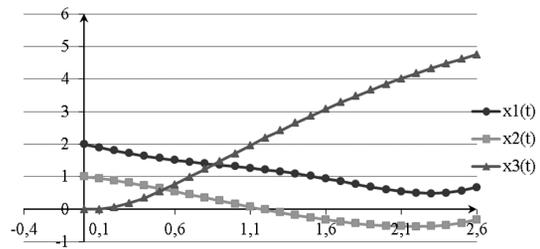


Рис. 1. Функции состояния нейронной сети $\tilde{x}_i(t)$, $i = \overline{1, 3}$

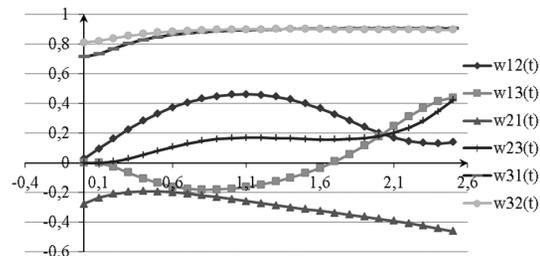


Рис. 2. Весовые коэффициенты нейронной сети $\tilde{\omega}_{ij}(t)$, $i, j = \overline{1, 3}$

Параметры режима, представленного на рис. 1–2, следующие: $n = 3$, $T_0 = 5$, $\Delta\tau = 0,1$, $|u_i^k| \leq 0,1$, $\beta_i = 0,5$, $|\omega_{ij}^k| \leq 1$, $\alpha_i = 0,1$, $M_i = 10000$, точность метода $\varepsilon = 0,000001$. За 101841 итерацию значение минимизируемого функционала достигло величины 0,5176, что означает достаточно высокую эффективность метода, при этом оптимальное время процесса $T = 2,8$.

В таблице приведены значения минимизируемого функционала при различном значении времени процесса

Значения минимизируемого функционала при различном значении времени процесса

T	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2
I_{opt}	2002,4	7,203	0,559	0,558	0,518	0,686	0,723
I_{opt1}	0,9402	1,034	0,559	0,558	0,518	0,686	0,723
I_{opt2}	2001,5	6,169	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$

$$\text{где } I_{opt1} = \Delta\tau \sum_{k=1}^{q-1} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} (\bar{\omega}_{ij}^k)^2 + \sigma_i \bar{u}_i^{k2} \right),$$

$$I_{opt2} = \sum_{i=1}^n M_i (\bar{x}_i^q - A_i)^2, \quad I_{opt} = I_{opt1} + I_{opt2}.$$

Из таблицы следует, что найденное оптимальное время процесса $T = 2,8$ соответствует наименьшему значению минимизируемого функционала, то есть за время работы нейронной сети

$T = 2,8$ значение величины ошибки обучения и энергии нейронной сети достигает наименьших значений, при уменьшении или увеличении времени процесса увеличивается значение минимизируемого функционала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналогичный подход распространяется на оптимальное управление моделью искусственной нейронной сети, динамика которой описывается следующей системой интегро-дифференциальных уравнений:

$$\dot{x}_i(t) = -\beta_i x_i(t) + f_i \left(\int_{t-r}^t \sum_{j=1}^n \omega_{ij}(\tau) x_j(\tau - \delta_j) d\tau \right) + \gamma_i u_i(t),$$

$$t \in [0, T]$$

с начальными условиями

$$x_i(t) = \theta_i(t), \quad t \in [-r - \max(\delta_j), 0], \quad i = \overline{1, n},$$

где параметр δ_j , $j = \overline{1, n}$ учитывает запаздывание при передаче сигнала от одного нейрона к другому, а параметр r в интегральном слагаемом в аргументе функции активации учитывает тот факт, что внешнее воздействие на нейроны ИНС накапливается на интервале запаздывания $[t-r, t]$. Решение задачи оптимального управления с фиксированным временем процесса для такой нейронной сети рассмотрено в работе [3].

* Работа выполнена в соответствии с Программой поддержки ведущих научных школ (НШ-5264.2012.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Е. А. Оптимизация нейронных сетей: Учеб. пособие. Тверь, 2007.
2. Андреева Е. А., Пустырнакова Ю. А. Численные методы обучения искусственных нейронных сетей с запаздыванием // ЖВМ и МФ. 2002. Т. 42. С. 1383–1391.
3. Большакова И. С., Шаронов Д. А. Обучение нейронной сети с запаздыванием // Программные продукты и системы. 2011. № 2. С. 35–37.
4. Евтушенко Ю. Г. Оптимизация и быстрое автоматическое дифференцирование. М., 2013. 144 с.
5. Майоров В. В., Мышкин И. Ю. Математическое моделирование нейронов сети на основе уравнений с запаздыванием // Математическое моделирование. 1990. Т. 2. № 11. С. 64–76.

Andreeva E. A., Tver State University (Tver, Russian Federation)

Mazurova I. S., Tver State University (Tver, Russian Federation)

NUMERICAL METHODS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TRAINING

The problem of artificial neural network modeling is studied. The artificial neural network is characterized by the enough general topology and is described by the system of integral differential equations. Training on the artificial neural network usage is considered as an optimal control problem with variable duration of the process. Considering the defined constraints and the form of the functional, the necessary conditions of optimality of the artificial neural network weighting coefficients incorporating external influence are formulated. The initial current problem is reduced to a discrete optimal control problem, which is solved by the methodology of the fast automatic differentiation. The influence of the task parameters on the optimal solution is analyzed.

Key words: artificial neural networks, integro-differential equations, optimal control

REFERENCES

1. Andreeva E. A. *Optimizatsiya neyronnykh setey* [Optimization of neural network: Educational book]. Tver, 2007.
2. Andreeva E. A., Pustyrnakova Yu. A. Numerical methods for training artificial neural networks with delay [Chislennyye metody obucheniya iskusstvennykh neyronnykh setey s zapazdyvaniem]. *ZhVM i MF*. 2002. Vol. 42. P. 1383–1391.
3. Bolshakova I. S., Sharonov D. A. Training a neural network with delay [Obuchenie neyronnoy seti s zapazdyvaniem]. *Programmnye produkty i sistemy* [Program products and systems]. 2011. № 2. P. 35–37.
4. Evtushenko Yu. G. *Optimizatsiya i bystroie avtomaticheskoe differentsirovanie* [Optimization and fast automation differentiation]. Moscow, 2013. 144 p.
5. Mayorov V. V., Myshkin I. Yu. Mathematical modeling of neuronal networks based on equations with delay [Matematicheskoe modelirovanie neyronov seti na osnove uravneniy s zapazdyvaniem]. *Matematicheskoe modelirovanie* [Mathematical modeling]. 1990. Vol. 2. № 11. P. 64–76.

Поступила в редакцию 04.04.2014

ЕЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА ХВОРОСТЯНСКАЯ
кандидат физико-математических наук, старший научный
сотрудник лаборатории теории вероятностей и компью-
терной статистики, Институт прикладных математичес-
ких исследований Карельского научного центра РАН
(Петрозаводск, Российская Федерация)
cher@krc.karelia.ru

ПРЕДЕЛЬНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛА ДЕРЕВЬЕВ ЗАДАННОГО ОБЪЕМА В ЛЕСЕ ГАЛЬТОНА–ВАТСОНА С ОГРАНИЧЕННЫМ ЧИСЛОМ ВЕРШИН*

Рассматривается докритический или критический однородный процесс Гальтона–Ватсона, начинающийся с N частиц, в котором число прямых потомков каждой частицы имеет распределение Пуассона. Множество реализаций такого процесса представляет собой множество лесов, состоящих из N корневых деревьев с помеченными вершинами, а распределение вероятностей на этом множестве естественным образом индуцируется ветвящимся процессом. Такие случайные леса известны как леса Гальтона–Ватсона. Для подмножества лесов Гальтона–Ватсона, в которых общее число вершин не превосходит n , получены предельные распределения числа деревьев заданного объема при $N, n \rightarrow \infty$.

Ключевые слова: ветвящийся процесс Гальтона–Ватсона, лес Гальтона–Ватсона, предельное распределение, число деревьев заданного объема

Рассмотрим докритический или критический процесс Гальтона–Ватсона, начинающийся с N частиц. Очевидно, что такой процесс распадается на N независимых подпроцессов с одной начальной частицей. Бесконечное множество всех возможных траекторий процесса представляет собой множество лесов, состоящих из N корневых деревьев с помеченными вершинами, а распределение вероятностей на этом множестве естественным образом индуцируется ветвящимся процессом. В [13] получены предельные распределения основных характеристик случайного леса Гальтона–Ватсона, в котором число вершин равно $N + n$.

Будем считать далее, что число прямых потомков каждой частицы процесса Гальтона–Ватсона имеет распределение Пуассона с параметром λ , $0 < \lambda \leq 1$. Обозначим через ξ_1, \dots, ξ_N число частиц, существовавших за все время эволюции в подпроцессах, начинающихся с частиц $1, \dots, N$ соответственно. Легко видеть, что ξ_1, \dots, ξ_N независимы и определяют объемы деревьев леса Гальтона–Ватсона за все время эволюции процесса. Заметим, что подмножество траекторий такого процесса при условии $\xi_1 + \dots + \xi_N = N + n$ совпадает с множеством лесов с помеченными вершинами, содержащих N корневых деревьев и n некорневых вершин, свойства таких лесов изучались в [5], [6], [7] с помощью обобщенной схемы размещения [2], [3]. В работах [10], [11] предложен аналог этого метода, где сумма независимых одинаково распределенных случайных величин ограничена сверху. Используя данную модификацию, в [9], [12] получены предельные распределения числа ячеек заданного объема

и максимального заполнения ячейки в схеме размещения частиц по ячейкам с пуассоновским распределением заполнения ячеек.

Известно [8], что введенные выше случайные величины ξ_1, \dots, ξ_N имеют распределение Бореля – Таннера:

$$p_k = \mathbf{P}\{\xi_i = k\} = \frac{(\lambda k)^{k-1}}{k!} e^{-\lambda k}, \quad (1)$$

$$k = 1, 2, \dots, \quad 0 < \lambda \leq 1, \quad i = 1, \dots, N.$$

Далее мы будем рассматривать подмножество траекторий процесса, удовлетворяющих условию $\xi_1 + \dots + \xi_N \leq n$.

Обозначим через μ_r случайную величину, равную числу деревьев, содержащих ровно r вершин.

В теоремах 1 и 2 найдены предельные распределения случайной величины μ_r при $N \rightarrow \infty$.

Теорема 1. Пусть $N \rightarrow \infty$ и выполнено одно из следующих условий:

1. $r \rightarrow \infty, (1 - \lambda)N \rightarrow \gamma, 0 \leq \gamma < \infty, n/N^2 \geq C > 0$;

2. $r \rightarrow \infty, \lambda \geq \lambda_1 > 0,$
 $(1 - \lambda)N \rightarrow \infty, (1 - \lambda)^{1/2} (N - n(1 - \lambda)) \leq CN^{1/2},$
где $C \geq 0$;

3. $r \geq 3, \lambda \rightarrow 0, N\lambda^3 \rightarrow \infty, N - n(1 - \lambda) \leq C(\lambda N)^{1/2},$
где $C \geq 0$;

4. $r = 2, \lambda \rightarrow 0, N\lambda^6 \rightarrow \infty, (n(1 - \lambda) - N)/(\lambda N)^{1/2} \rightarrow \infty.$

Тогда

$$\mathbf{P}\{\mu_r = k\} = \frac{(Np_r)^k}{k!} e^{-Np_r} (1 + o(1))$$

равномерно относительно целых неотрицательных k , для которых $(k-Np_r)/(Np_r)^{1/2}$ лежит в любом конечном фиксированном интервале.

Теорема 2. Пусть $N \rightarrow \infty$, $Np_r(1-p_r) \rightarrow \infty$ и выполнено одно из следующих условий:

1. $r = 1, 2, \lambda \rightarrow 0, N\lambda^{2r+2} \rightarrow \infty, (n(1-\lambda)-N)/(\lambda N)^{1/2} \rightarrow \infty$;
2. $r \geq 3, \lambda \rightarrow 0, N\lambda^3 \rightarrow \infty, N-n(1-\lambda) \leq C(\lambda N)^{1/2}$, где $C \geq 0$;
3. $r \rightarrow \infty, 0 < \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 < 1, N-n(1-\lambda) \leq CN^{1/2}$, где $C \geq 0$;
4. $r \geq 1$ фиксировано, $0 < \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 < 1, (n(1-\lambda)-N)/N^{1/2} \rightarrow \infty$;
5. $r \geq 2$ фиксировано, $\lambda \rightarrow 1-1/r, |n(1-\lambda)-N|/N^{1/2} \leq C$, где $C \geq 0$;
6. $\lambda \rightarrow 1, (1-\lambda)N \rightarrow \infty, (1-\lambda)^{1/2}(N-n(1-\lambda)) \leq CN^{1/2}$, где $C \geq 0$;
7. $(1-\lambda)N \rightarrow \gamma, 0 \leq \gamma < \infty, n/N^2 \geq C > 0$;
8. $r \geq 2$ фиксировано, $\lambda = 1-1/r, (n-Nr)/N^{1/2} \rightarrow -\infty, n = Nr + o(N^{2/3})$.

Тогда

$$\mathbf{P}\{\mu_r = k\} = \frac{1 + o(1)}{\sqrt{2\pi Np_r(1-p_r)}} e^{-u^2/2}$$

равномерно относительно $u = (k-Np_r)/(Np_r(1-p_r))^{1/2}$ в любом конечном фиксированном интервале.

Для доказательства теорем 1 и 2 нам потребуются вспомогательные утверждения, которые приводятся ниже в леммах 1–5.

Лемма 1. Для $k = 0, 1, \dots, N$ справедливо равенство

$$\mathbf{P}\{\mu_r = k\} = \binom{N}{k} p_r^k (1-p_r)^{N-k} \frac{\mathbf{P}\{\zeta_{N-k}^{(r)} \leq n - kr\}}{\mathbf{P}\{\zeta_N \leq n\}},$$

где $\zeta_N = \zeta_1 + \dots + \zeta_N, \zeta_{N-k}^{(r)} = \zeta_1^{(r)} + \dots + \zeta_{N-k}^{(r)}$, независимые случайные величины $\zeta_1^{(r)}, \dots, \zeta_N^{(r)}$ имеют распределения

$$\mathbf{P}\{\zeta_i^{(r)} = l\} = \mathbf{P}\{\zeta_1 = l \mid \zeta_1 \neq r\},$$

$$i = 1, \dots, N, l = 1, 2, \dots$$

Доказательство. Введем случайные величины η_1, \dots, η_N , равные объемам деревьев в рассматриваемом лесе Гальтона–Ватсона. Очевидно, что справедливо равенство

$$\mathbf{P}\{\eta_1 = k_1, \dots, \eta_N = k_N\} = \mathbf{P}\{\zeta_1 = k_1, \dots, \zeta_N = k_N \mid \zeta_1 + \dots + \zeta_N \leq n\}.$$

В [10] показано, что отсюда следует утверждение леммы.

Обозначим

$$m = \mathbf{E}\zeta_1, \sigma^2 = \mathbf{D}\zeta_1, m_r = \mathbf{E}\zeta_1^{(r)}, \sigma_r^2 = \mathbf{D}\zeta_1^{(r)}.$$

Лемма 2. Пусть $N \rightarrow \infty, \lambda^3(1-\lambda)N \rightarrow \infty$. Тогда распределение случайной величины $(\zeta_N - mN)/$

$(\sigma N^{1/2})$ слабо сходится к стандартному нормальному распределению.

Доказательство. Используя равенства

$$m = (1-\lambda)^{-1}, \sigma^2 = \lambda(1-\lambda)^{-3},$$

$$\mathbf{E}\zeta_1^3 = (1+2\lambda)(1-\lambda)^{-5} \tag{2}$$

и формулу Тейлора, находим, что для характеристической функции $\psi(t)$ случайной величины $(\zeta_N - mN)/(\sigma N^{1/2})$ выполнено соотношение $\ln \psi(t) = -t^2/2 + O((N\lambda^3(1-\lambda))^{-1/2}) = -t^2/2 + o(1)$ при любом фиксированном t . Отсюда и из теоремы непрерывности следует утверждение леммы.

Лемма 3. Пусть $N \rightarrow \infty, (1-\lambda)N \rightarrow \gamma$, где γ – некоторая неотрицательная постоянная. Тогда распределение суммы ζ_N/N^2 слабо сходится к распределению вероятностей с плотностью

$$g(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi x}} \exp\left\{\gamma - \frac{\gamma^2 x}{2} - \frac{1}{2x}\right\}. \tag{3}$$

Доказательство. Следуя доказательству леммы 2.4.4 [3], нетрудно показать, что для характеристической функции $\varphi(t)$ случайной величины ζ_1 при любом фиксированном t выполнены соотношения: $N \ln \varphi(t/N^2) \rightarrow -(-2it)^{1/2}$ при $\lambda = 1$ и $N \ln \varphi(t/N^2) \rightarrow \gamma - (\gamma^2 - 2it)^{1/2}$ при $\lambda \neq 1$. Отсюда и из теоремы непрерывности получаем утверждение леммы, поскольку $\exp\{\gamma - (\gamma^2 - 2it)^{1/2}\}$ является характеристической функцией распределения вероятностей с плотностью (3) [4].

Лемма 4. Пусть $s \rightarrow \infty, s\lambda^6(1-\lambda)N \rightarrow \infty$ при $r = 2$ и $s\lambda^3(1-\lambda)N \rightarrow \infty$ при $r \neq 2$. Тогда распределение случайной величины $(\zeta_s^{(r)} - m_r s)/(\sigma_r s^{1/2})$ слабо сходится к стандартному нормальному распределению.

Доказательство. Обозначим через $\varphi_r(t), \psi_r(t)$ характеристические функции случайных величин $\zeta_1^{(r)}, (\zeta_s^{(r)} - m_r s)/(\sigma_r s^{1/2})$ соответственно. Справедливо равенство:

$$\psi_r(t) = \exp\left\{-\frac{itm_r s}{\sigma_r \sqrt{s}}\right\} \varphi_r^s\left(\frac{t}{\sigma_r \sqrt{s}}\right). \tag{4}$$

С помощью (1) несложно показать, что

$$m_r = (m - rp_r)/(1-p_r),$$

$$\sigma_r^2 = \sigma^2(1-p_r)^{-2}(1-p_r - p_r(m-r)^2/\sigma^2),$$

$$\mathbf{E}(\zeta_1^{(r)})^3 = (1-p_r)^{-1}((1+2\lambda)(1-\lambda)^{-5} - r^3 p_r). \tag{5}$$

Учитывая (1), (2), находим, что имеют место соотношения:

при $\lambda \rightarrow 0$

$$m_1 = 2(1 + o(1)), m_r = 1 + o(1), r \geq 2,$$

$$\sigma_1^2 = 3\lambda/2(1 + o(1)), \sigma_r^2 = 6\lambda^2(1 + o(1)),$$

$$\sigma_r^2 = \lambda(1 + o(1)), r \geq 3, \tag{6}$$

при $0 < \lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2 < 1$

$$0 < C_1 \leq m_r, \sigma_r^2 \leq C_2 < \infty, r \geq 1, \tag{7}$$

при $\lambda \rightarrow 1$

$$m_r \leq C_3(1-\lambda)^{-1}, \sigma_r^2 = C_4(1-\lambda)^{-3}(1 + o(1)), \tag{8}$$

здесь и далее через C_1, C_2, C_3, \dots обозначены некоторые положительные постоянные. Отсюда следует, что при выполнении условий леммы $\sigma_r^2 s \rightarrow \infty$ и с помощью формулы Тейлора при любом фиксированном t получаем, что

$$\varphi_r \left(\frac{t}{\sigma_r \sqrt{s}} \right) = 1 + \frac{im_r}{\sigma_r \sqrt{s}} t - \frac{\sigma_r^2 + m_r^2}{2\sigma_r^2 s} t^2 + \delta_r(\lambda, t), \quad (9)$$

где $|\delta_r(\lambda, t)| \leq C_5 \mathbf{E}(\xi_1^{(r)})^3 (\sigma_r^2 s)^{-3/2}$. Используя (1), (5)–(8) и формулу Стирлинга, нетрудно проверить, что при выполнении условий леммы $s \delta_r(\lambda, t) \rightarrow 0$ и из (9) находим, что $\ln \varphi_r(t/(\sigma_r s^{1/2})) = im_r s t / (\sigma_r s^{1/2}) - t^2/2 + o(1)$. Отсюда, из (4) и теоремы непрерывности следует утверждение леммы.

Лемма 5. Пусть $s = N(1-p_r)(1+o(1)) \rightarrow \infty$, $(1-\lambda)N \rightarrow \infty$. Тогда распределение суммы $\zeta_s^{(r)}/N^2$ слабо сходится к распределению вероятностей с плотностью (3).

Доказательство. Характеристическая функция случайной величины $\zeta_s^{(r)}/N^2$ имеет вид:

$$\psi^{(r)}(t) = (\varphi(t/N^2) - p_r \exp\{itr/N^2\})^s (1-p_r)^{-s},$$

где $\varphi(t)$ – характеристическая функция случайной величины ζ_1 . В лемме 3 доказано, что $\varphi^N(t/N^2) \rightarrow \exp\{\gamma - (\gamma^2 - 2it)^{1/2}\}$ при любом фиксированном t . С помощью этого соотношения, формулы Тейлора и неравенства $|e^{ix} - 1| \leq |x|$ находим, что

$$\psi_s^{(r)}(t) = e^{(\gamma - \sqrt{\gamma^2 - 2it})s/N} \left(1 + \frac{p_r(\gamma - \sqrt{\gamma^2 - 2it})}{(1-p_r)N} + O\left(\frac{1+rp_r}{N^2}\right) \right)^s.$$

Учитывая (1) и формулу Стирлинга, нетрудно проверить, что $rp_r \rightarrow 0$ при $r \rightarrow \infty$, и, поскольку $s = N(1-p_r)(1+o(1))$, получаем равенство $\psi_s^{(r)}(t) = \exp\{\gamma - (\gamma^2 - 2it)^{1/2} + o(1)\}$. Из этого соотношения и теоремы непрерывности следует утверждение леммы.

Докажем теорему 1. Пусть $v = (k - Np_r)/(Np_r)$ лежит в любом конечном фиксированном интервале. При выполнении условия 1) с помощью (1) и формулы Стирлинга нетрудно проверить, что $N - k = N(1-p_r)(1+o(1))$, и из лемм 3, 5 получаем равенство

$$\frac{\mathbf{P}\{\zeta_{N-k}^{(r)} \leq n - kr\}}{\mathbf{P}\{\zeta_N \leq n\}} = \frac{\int_0^{(n-kr)/N^2} g(x) dx}{\int_0^{n/N^2} g(x) dx} (1+o(1)), \quad (10)$$

где $(n-kr)/N^2 = n/N^2 + o(1)$, $g(x)$ определено в (3). Следовательно,

$$\frac{\mathbf{P}\{\zeta_{N-k}^{(r)} \leq n - kr\}}{\mathbf{P}\{\zeta_N \leq n\}} \rightarrow 1. \quad (11)$$

Если выполнено одно из условий 2)–4) теоремы, то справедливы леммы 2 и 4, из которых получаем, что

$$\frac{\mathbf{P}\{\zeta_{N-k}^{(r)} \leq n - kr\}}{\mathbf{P}\{\zeta_N \leq n\}} = \frac{\int_{-\infty}^{x_r} e^{-x^2/2} dx}{\int_{-\infty}^y e^{-x^2/2} dx} (1+o(1)), \quad (12)$$

где $y = (n - mN)/(\sigma N^{1/2})$, $x_r = (n - kr - m_r(N - k))/(\sigma_r(N - k)^{1/2})$. Используя (2), (5), несложно показать, что

$$y = (n(1-\lambda)^{3/2} - N(1-\lambda)^{1/2})/(\lambda N)^{1/2}, \quad (13)$$

$$x_r = \left(y + \frac{v(m-r)\sqrt{p_r}}{\sigma(1-p_r)} \right) \left(1 - \frac{(m-r)^2 p_r}{\sigma^2(1-p_r)} \right)^{-1/2} \times$$

$$\times \left(1 - \frac{v\sqrt{p_r/N}}{1-p_r} \right)^{-1/2}.$$

Учитывая (1), (2) и формулу Стирлинга, получаем, что при выполнении одного из условий 2), 3) справедливы соотношения $(m-r)^2 p_r / \sigma^2 \rightarrow 0$ и $x_r = y + o(y+1)$. Следовательно, $x_r \rightarrow \infty$ при $y \rightarrow \infty$, а если $|y| \leq C$, то $x_r - y \rightarrow 0$. Отсюда и из (12) находим, что справедливо (11). Если выполнено условие 4), то с помощью (1), (2) нетрудно проверить, что $x_2 = (y - v + o(y+1))/(6\lambda)^{1/2}$, и, поскольку $y \rightarrow \infty$, легко видеть, что $x_2 \rightarrow \infty$ и из (12) следует (11).

Утверждение теоремы 1 получаем из леммы 1, соотношения (11) и приближения биномиальных вероятностей распределением Пуассона.

Докажем теорему 2. Пусть $u = (k - Np_r)/(Np_r)$ ($1 - p_r$)^{1/2} лежит в конечном фиксированном интервале. Тогда $N - k = N(1-p_r)(1+o(1)) \rightarrow \infty$ и при выполнении одного из условий 1)–6) теоремы справедливы леммы 2, 4, из которых получаем (12), при этом, учитывая (5), несложно показать, что

$$x_r = \frac{(y + u(m-r)\sqrt{p_r(1-p_r)}/\sigma)(1-p_r)}{(1-p_r - p_r(m-r)^2/\sigma^2)^{1/2} (1-p_r - \sqrt{p_r(1-p_r)}/N)^{1/2}}.$$

При $\lambda \rightarrow 0$, используя (1), (2), находим, что $x_1 = (y + o(y+1))/(1,5\lambda)^{1/2}$, $x_2 = (y + o(y+1))/(6\lambda)^{1/2}$, $x_r = y + o(y+1)$, $r \geq 3$. Отсюда и из (13) получаем, что при выполнении условия 1) теоремы $x_1, x_2 \rightarrow \infty$, а из (12) следует (11). Если выполнено условие 2), то $x_r \rightarrow \infty$ при $y \rightarrow \infty$ и $x_r - y \rightarrow 0$, если $|y| \leq C$. Из этих соотношений и (12) легко получить (11).

Также можно показать, что если справедливо одно из условий 3), 5), 6) теоремы, то $p_r(m-r)^2/\sigma^2 \rightarrow 0$ и $x_r = y + o(y+1)$, а если выполнено условие 4), то $x_r = (y + O(u(\lambda - 1 + r^{-1})) + o(y)) \times (1 - (1 - r + r\lambda)^2(1 - \lambda)p_r \lambda^{-1}(1 - p_r)^{-1})^{1/2}$. С помощью этих соотношений, аналогично случаю $\lambda \rightarrow 0$, находим, что имеет место (11).

При выполнении условия 7) справедливы леммы 3, 5, из которых следует (10). С помощью (1)

для выбранных значений k нетрудно проверить, что $(n-kr)/N^2 = n/N^2 + o(1)$, и из (10) получаем (11).

Если выполнено условие 8) теоремы, то $y \rightarrow -\infty$, $y^3/N^{1/2} \rightarrow 0$, $x_r = y(1 + O(N^{-1/2}))$ и, используя теорему 6.1.1 [1], получаем (12). Легко видеть, что $x_r - y \rightarrow 0$ и из (12) следует (11).

Утверждение теоремы получаем из леммы 1, соотношения (11) и асимптотики биномиальных вероятностей нормальным распределением.

Автор выражает благодарность профессору Ю. Л. Павлову за помощь в постановке задачи и обсуждении полученных результатов.

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 13–01–00009.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ибрагимов И. А., Линник Ю. В. Независимые и стационарно связанные величины. М.: Наука, 1965. 524 с.
2. Колчин В. Ф. Случайные графы. М.: Физматлит, 2000. 256 с.
3. Колчин В. Ф. Случайные отображения. М.: Наука, 1984. 207 с.
4. Оберхеттингер Ф. Преобразования Фурье распределений и их обращения. М.: Наука, 1979. 248 с.
5. Павлов Ю. Л. Асимптотическое распределение максимального объема дерева в случайном лесе // Теория вероятностей и ее применения. 1977. Т. 22. Вып. 5. С. 523–533.
6. Павлов Ю. Л. Один случай предельного распределения максимального объема дерева в случайном лесе // Математические заметки. 1979. Т. 25. Вып. 5. С. 751–760.
7. Павлов Ю. Л. Предельные теоремы для числа деревьев заданного объема в случайном лесе // Математический сборник. 1977. Т. 103. Вып. 3. С. 392–403.
8. Севастьянов Б. А. Ветвящиеся процессы. М.: Наука, 1971. 442 с.
9. Хворостянская Е. В. О случайных пуассоновских заполнениях ячеек // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Сер. «Математическое моделирование и информационные технологии». 2013. Вып. 4. № 1. С. 112–116.
10. Чупрунов А. Н., Фазекаш И. Аналог обобщенной схемы размещения. Предельные теоремы для числа ячеек заданного объема // Дискретная математика. 2012. Т. 24. Вып. 1. С. 140–158.
11. Чупрунов А. Н., Фазекаш И. Аналог обобщенной схемы размещения. Предельные теоремы для максимального объема ячейки // Дискретная математика. 2012. Т. 24. Вып. 3. С. 122–129.
12. Khvorostyanskaya E. V., Pavlov Yu. L. Limit distributions of the maximum cells' filling in one allocation scheme // International Multidisciplinary Journal European Researcher. 2014. (in print)
13. Pavlov Yu. L. Random forests. Utrecht, VSP, 2000. 122 p.

Khvorostyanskaya E. V., Institute of Applied Mathematical Research of the Karelian Research Center of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

LIMIT DISTRIBUTION OF GIVEN SIZE TREES' NUMBER IN GALTON-WATSON FOREST WITH LIMITED NUMBER OF VERTICES

A subcritical or a critical homogeneous Galton – Watson process starting with N particles is considered. In this process, the number of offsprings from every particle has a Poisson distribution. The set of realizations of such process is a set of forests consisting of N rooted trees with labeled vertices, and the probability distribution on this set is naturally induced by the branching process. Such random forests are known as Galton – Watson forests. Under $N, n \rightarrow \infty$ we obtained limit distributions of the number of trees of a given size for a subset of Galton – Watson forests, in which the total number of vertices does not exceed n .

Key words: Galton – Watson process, Galton–Watson forest, limit distribution, number of trees of a given size

REFERENCES

1. Ibragimov I. A., Linnik Yu. V. Independent and stationary sequences of random variables. Groningen, Wolters–Noordhoff, 1971. 443 p.
2. Kolchin V. F. Random graphs. Cambridge University Press, 1999. 252 p.
3. Kolchin V. F. Random mapping. N. Y., Springer, 1986. 206 p.
4. Oberhettinger F. Fourier transforms of distributions and their inverses: a collection of tables. N. Y., Academic Press, 1973. 167 p.
5. Pavlov Yu. L. The asymptotic distribution of maximum tree size in a random forest. *Theory of Probability and its Applications*. 1978. Vol. 22. Iss. 3. P. 509–520.
6. Pavlov Yu. L. A case of limit distribution of the maximal volume on a tree in a random forest. *Mathematical notes*. 1979. Vol. 25. Iss. 5. P. 387–392.
7. Pavlov Yu. L. Limit theorems for the number of trees of the given size in a random forest. *Mathematics of the USSR*. 1977. Vol. 32. № 3. P. 335–345.
8. Sevast'yanov B. A. *Vetvyashchiesya protsessy* [Branching processes]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 442 p.
9. Khvorostyanskaya E. V. On random Poisson allocation of cells [O sluchaynykh puassonovskikh zapolnениyakh yacheek]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Ser. "Matematicheskoe modelirovanie i informatsionnye tekhnologii"* [Proc. of the Karelian Research Centre of the RAS. Ser. "Mathematical modeling and information technologies."]. 2013. Issue 4. № 1. P. 112–116.
10. Chuprunov A. N., Fazekas I. An analogue of the generalized allocation scheme: limit theorems for the number of cells containing a given number of particles. *Discrete Mathematics and Applications*. 2012. Vol. 22. Iss. 1. P. 101–122.
11. Chuprunov A. N., Fazekas I. An analogue of the generalized allocation scheme: limit theorems for the maximum cell load. *Discrete Mathematics and Applications*. 2012. Vol. 22. Iss. 3. P. 307–314.
12. Khvorostyanskaya E. V., Pavlov Yu. L. Limit distributions of the maximum cells' filling in one allocation scheme. *International Multidisciplinary Journal European Researcher*. 2014. (in print)
13. Pavlov Yu. L. Random forests. Utrecht, VSP, 2000. 122 p.

Поступила в редакцию 16.05.2014

СОФЬЯ МИХАЙЛОВНА ЛОЙТЕР

доктор филологических наук, профессор (Петрозаводск,
Российская Федерация)
sofia5@sampo.ru

Рец. на кн.: Зильбер А. П. Врачи-труэнты: Очерки о врачах, прославившихся вне медицины. – Санкт-Петербург: Арка, 2013. – 460 с.

Уважаемый читатель, хочу предупредить, что мое обращение к книге Анатолия Петровича Зильбера не есть вторжение непосвященного в неизвестную ему сферу – медицину. Я буду говорить лишь о той грани его деятельности, которая близка мне и сродни моим занятиям. Тем не менее, опираясь на многочисленные источники, не могу избежать искушения и не сказать об определяющей, известной многим деятельности врача А. П. Зильбера. Доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии медицины, организатор в Петрозаводске первого в России отделения респираторной терапии, заведующий кафедрой Петрозаводского государственного университета, автор концепции медицины критических состояний, создатель самостоятельного курса анестезиологии-реанимации, заслуженный деятель науки РФ, народный врач Карелии, почетный гражданин Петрозаводска, кавалер многих орденов, медалей, почетных знаков. Автор свыше 450 печатных работ, среди них более 40 монографий. Ученый с мировым именем, чьи лекции по проблемам интенсивной терапии слушали врачи не только ближнего зарубежья, но и Австрии, Англии, Швеции, Финляндии, США, Израиля, Венгрии, Канады. Организатор ежегодных учебно-методических семинаров по проблемам медицины критических состояний. Школа Зильбера, функционирующая под эгидой Европейской ассоциации анестезиологов, собрала в октябре этого года в 51-й раз семинар, на который съехалось более 300 врачей для повышения уровня теоретических знаний и внедрения в практику новейших достижений медицины критических состояний и получения специального сертификата.

Добавлю к этому личное – от пациента. В 2002 году, оказавшись по скорой в отделении реанимации Республиканской больницы где-то около шести утра, увидела у своей кровати врача, которым, как позже узнала, был А. П. Зильбер. Вскоре состоялось наше знакомство, благодаря которому становлюсь счастливой обладательницей его книг. Появление в отделении в 4–5 часов утра для него, считающего это время очень важным для медицины критических состояний, имеющей дело с больным в пограничном между жизнью и смертью состоянии, – норма, повседневность, которой он придерживается всю жизнь, вплоть до сегодняшнего дня. Видимо, та-

кие наблюдения обостряют, усиливают осознание ценности жизни, когда врачевание рождает отдельную философию – человековедение. Врач, утверждает А. П. Зильбер, прежде всего человек, способный к сопереживанию. В замечательной книге «Легенды и реалии профессионального врача» (Петрозаводск, 2005) он приводит слова британского врача Томаса Сиденгама, который на вопрос, что следует читать, чтобы стать хорошим врачом, ответил, не задумываясь: «Читайте “Дон Кихота” Сервантеса. Он умел сопереживать людям, попавшим в беду».

Упомянутая книга – лишь одна из более 50 работ А. П. Зильбера, посвященных другой стороне его деятельности – пропаганде гуманитарной культуры. Их доминанта – гуманитарная культура и духовное развитие должны быть фундаментом общего образования и профессионального опыта любого специалиста, а врача особенно. Гуманитарное просветительство Зильбера – производное дрящегося уже более 60 лет страстного увлечения медицинским труэнтизмом. Приведу определение этого социологического феномена, принадлежащее доктору Зильберу: «Медицинский труэнтизм – это плодотворное устремление врачей к полезной творческой деятельности вне медицины». Со студенческой скамьи «фанатичный коллекционер материалов по медицинскому труэнтизму», как он сам себя называет, Анатолий Петрович собирает и анализирует материалы о врачах, добившихся успехов и славы вне медицины. Его уникальная картотека, заключающая колоссальный объем знаний по истории культуры в ее разных проявлениях, насчитывает сегодня свыше трех тысяч досье, оформленных в соответствии с принятой им классификационной схемой и твердыми требованиями. Их фигуранты – философы и археологи, дипломаты и историки, астрономы и математики, музыканты и писатели, физики и геологи, политические деятели и главы правительств и др. Являясь не просто информацией или регистрацией каких-то данных, такое персональное дело оказывается итогом глубокого и длительного изучения материалов, каковыми становятся для собирателя многочисленные источники, прежде всего широкий спектр разнородной литературы от античности до наших дней, целенаправленные визиты в отечественные и зарубежные архивы, библиотеки, музеи, переписки, контакты и лич-

ные встречи, сопряженные с разысканиями и поисками редких изданий, документов, фотографий и т. д. Теперь эта картотека – плод огромного труда в обобщенном и концентрированном виде – воплотилась в уникальное трехтомное сочинение «Врачи-труэнты», первый том которого уже предьявлен читателю. 15 глав тома – это 15 оригинальных, самостоятельных повествований, в каждом из которых личность врача становится основанием для полнокровного разговора о какой-то отрасли истории мировой культуры или образования. Так, стержнеобразующей фигурой второй главы «Британский музей начинался на Ямайке» стал доктор Ханс Слоун – создатель Британского музея, первого государственного и общедоступного до сегодняшнего дня. Врачи, стоящие у истоков книгопечатания, журналистики, первых газет, книжной графики в мире и России, в частности, объекты изображения третьей («Мифы и реалии книгопечатания»), четвертой («Сколько монет в названии газеты “Копейка”?) и пятой («Экслибрис: НОТ или искусство»?) глав, содержащих массу интересных и малоизвестных фактов (например, о том, что врач и политик Жорж Клемансо имеет отношение к знаменитому в связи с делом Дрейфуса письму Золя, которому он дал хлесткое название «Я обвиняю!»; о российском враче П. М. Ольхине, издателе, редакторе, авторе оригинальной системы и руководства по стенографии, основателе в 1861 году и ныне существующего журнала «Вокруг света», именно Ольхин направил к Ф. М. Достоевскому А. Г. Сниткину, сыгравшую известную роль в его жизни и творчестве). Не менее содержательны другие десять глав книги, рассказывающие об истории библиотек и библиотеке Соловецкого монастыря особо, о месте в русской культуре разных поколений семьи Боткиных, о докторе Фридрихе Шиллере в литературе и музыке, о замечательных коллекционерах живописи, музыкальных инструментов (первой в мире женщине-анестезиологе Вирджинии Апгар) и многих других врачах-труэнтах. Последняя, 15-я, глава «Интеллигентность и медицинский труэнтизм» с подзаголовком «вместо заключения» особая. Утверждая, что труэнтизм – составная часть интеллигентности, автор книги размышляет о том, что такое интеллигентность вообще и каковы характерологические черты интеллигентного врача. И, как всегда, апеллирует к разным источникам и личностям, среди которых для меня лично малоубедительной и нежелательной является фигура посредственного писателя П. Д. Боборыкина, тем более так и не ставшего врачом. А то, что интеллигентность, настаивает Зильбер, категория нравственная и под ней следует понимать прежде всего порядочность, честность, неспособность к низким поступкам, пристойность поведения, заставляет вспомнить концепцию интеллигентности великого Д. С. Лихачева.

В книге А. П. Зильбера впечатляет диапазон источников, широта охвата материалов – все это знаки разностороннего гуманитарного знания, огромной начитанности, редкой сегодня эрудиции (стоило мне в разговоре упомянуть книгу Л. Кассиля «Кондуит и Швамбрания», тут же последовала реакция Анатолия Петровича, который процитировал наизусть гимн швамбран и вспомнил несколько замечательных высказываний маленького героя книги – путаника Оськи). Не менее впечатляет, как прочитанное осмыслено и обжито, как оно интерпретируется, как обнаруживаются новые смыслы. Один из поразивших меня примеров – гениальный роман XVI века Франсуа Рабле «Гаргантюа и Пантагрюэль» (доктора Рабле, которому среди прочих принадлежат термины «терапия» и «ангина»). Филологи знают, как непросто воспринимается и понимается воплощенная в романе народная смеховая культура, его гротескный реализм, гротесковые материально-телесные образы, и «телесного низа» в частности. Именно они прежде всего обращают на себя внимание читателей и комментаторов этого произведения. Исключительно внимательный и целенаправленный читатель, А. П. Зильбер усмотрел в романе редко отмечаемый мотив и смысл, процитировав письмо отца-великана Гаргантюа сыну-великану Пантагрюэлю («Я хочу лишь вдохновить тебя на то, чтобы ты совершенствовался беспрестанно...»), письмо, в котором отразилась гуманистическая программа самого Рабле.

Глубина прочтения, внимание к деталям позволяют Зильберу обнаруживать неожиданные смыслы, улавливать, акцентировать новые значения, нюансы и даже грани в рассматриваемых специально или упоминаемых по ассоциации античных мифах, Библии, произведениях художественной литературы («Капитанской дочке» А. С. Пушкина, «Мастере и Маргарите» М. Булгакова, новелле И. Бабеля «Гюи де Мопассан», «Разбойниках» Ф. Шиллера и т. д.). Талантливый истолкователь художественного текста – одна из ипостасей Зильбера-повествователя. Он становится экскурсоводом-искусствоведом, когда «прочитывает» и комментирует представленные в книге живописные работы из различных музеев мира. Наконец, пристрастный лингвист, неизменно озабоченный документированным выяснением, толкованием значения слова, формулированием и этимологией многочисленных терминов (начиная с истории самого понятия «термин» в подглавке «Почему римский бог Терминус и славянский Чур были против войны?»). Он многократно расширяет границы словоупотребления, воспроизводя в речевом обороте забытые или малоизвестные слова. Одно из них – особо почитаемое им слово «кводлибет», которое широко использовалось в Средние века в университетах и означало торжественный сло-

весный и интеллектуальный поединок, полемику. Зильбер упорно и методично адаптирует это слово в современном обиходе, практикуя кводлибеты среди своих студентов. Разноязычные словари – неперменные источники и инструменты в его тексте, редкая страница которого обходится без лингвистических изысканий.

Отличительное свойство книги Зильбера – ярко выраженный индивидуальный стиль. Размышляя в первой главе, как структурировать материал, каковой должна быть форма изложения, он называет такие литературные жанры, как очерк и эссе. И хотя в подзаголовке книга определена как «Очерки о врачах...», ее главы со свободной композицией, допускающей отвлечения и ассоциации, с вопросами и размышлениями, многочисленными авторскими отступлениями («Я буду позволять себе подобные отвлечения на протяжении всей этой и следующих книг, и у читателей, которые не согласны с таким подходом, я заранее прошу прощения и предлагаю не мучить себя, а пропускать подобные отступления или даже вообще отложить книгу в сторону» (с. 130), нередко публицистическими, порой даже гневными, особенно когда речь идет о современности – невежестве, бескультурье, чиновном произволе («...и не худо бы и в нашей стране сделать попытку остановить разгул средневекового медицинского шарлатанства, расцветающего не только из-за объективных трудностей государственного здравоохранения...» (с. 21), убедительно свидетельствуют, что жанрово книга Зильбера – синтез эссе и очерка, восходящий к бессмертным «Опытам» М. Монтеня, которые являются для него образцом самовыражения.

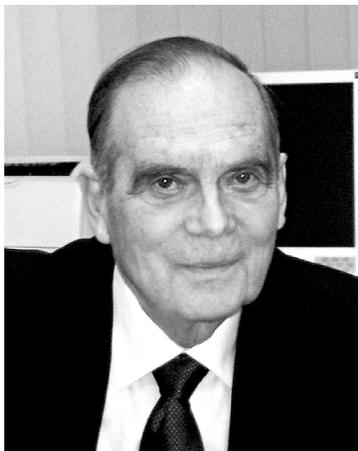
Одна из пронизывающих «Врачей-труэнтов» интонаций, обеспеченных бесценным качеством, которым щедро одарен автор, юмористическая. Без этого органического чувства юмора не было бы в повествовании (и в заголовках подглавок) так обогащающей его иронии, иногда самоиронии, цитируемых каламбуров, остроум-

ных анекдотов, шуточных песенок и частушек. А как хороши многочисленные юмористические ремарки или постраничные примечания. Приведу один из таких пассажей: «Те, кто не читал “Дракона” Е. Л. Шварца и другие его пьесы, могут пойти и организованно утопиться, потому что они все равно *не живут...*» (с. 359).

Живой авторский голос присутствует на всех уровнях повествования, о чем непосредственно и выразительно заявлено в последней части первой главы «Упреждающая аналгезия автора». Вот выдержки из этого своеобразного манифеста: «Книга – не справочник и не фундаментальное руководство по медицинскому труэнтизму. Основная цель книги – просвещение и гуманитарное воспитание читателей, с возбуждением их любопытства и стимуляцией любознательности»; «Эта книга очень личная...»; «Я и сегодня призываю своих читателей сомневаться и удивляться...»; «...свою главную задачу вижу в том, чтобы разжечь любопытство читателей к поиску»; «...книга писалась не один день, хоть и на едином дыхании. Вдох состоялся в 1949 году на II курсе I ЛМИ, а выдох пока не состоялся». И действительно, сегодня, когда рукописи очередных томов находятся в издательстве, поиски и разыскания продолжаются, не прерываясь ни на один день.

В начале 2000-х годов мне довелось присутствовать на прекрасном творческом вечере петрозаводского поэта, барда А. Жидкова, врача-анестезиолога одной из больниц, которого Анатолий Петрович не без гордости представлял и как своего ученика-медика, и как единомышленника-труэнта, строчки которого «Нужно быть на свете этом // Хоть немножечко труэнтом» цитируются в книге. Не «немножечко», а в полную силу страстное увлечение, гуманитарно-просветительская деятельность выдающегося доктора и уникального труэнта Анатолия Петровича Зильбера блистательно воплотились в его, несомненно, художественной книге.

Поступила в редакцию 25.11.2014



ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ РЫЖКОВ

(14.01.1929–03.09.2014)

Известный ученый в областях ихтиологии, рыбоводства и гидробиологии, доктор биологических наук, профессор, академик МАНЕБ, заслуженный деятель науки Республики Карелия и Российской Федерации, профессор кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, заведующий лабораторией экологических проблем Севера Петрозаводского государственного университета.

Л. П. Рыжков родился в д. Николаевское Вытегорского района Вологодской области. В 1948 году поступил в Карело-Финский госуниверситет, в 1953 году окончил его с отличием. После окончания аспирантуры работал на Севанской гидробиологической станции. В 1962 году защитил кандидатскую, в 1976 году – докторскую диссертацию. В 1965 году Леонид Павлович возвратился в Карелию и работал заведующим лабораторией Карельского отделения ГосНИОРХ, в 1966 году был назначен директором. Благодаря его активной деятельности в 1969 году на базе отделения был создан Северный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства (СевНИОРХ), который он и возглавил.

С 1967 года Леонид Павлович работает на кафедре зоологии и экологии эколого-биологического факультета Петрозаводского госуниверситета. Им были разработаны лекционные курсы по зоологии позвоночных, зоогеографии, рыбоводству и экологической физиологии рыб, основам теоретической биологии, экологической физиологии животных, общей ихтиологии, экологической экспертизе. Под его руководством было выполнено более 25 курсовых и дипломных работ, защищено 25 кандидатских и 3 докторские диссертации. До настоящего времени Л. П. Рыжков возглавлял лабораторию экологических проблем Севера. Под его руководством проводились исследования в различных научных областях – ихтиологии, экологической физиологии водных организмов, гидробиологии, токсикологии, аквакультуре, экологии. Во многом благодаря его энергичности, заинтересованности, инициативности развивалось сотрудничество лаборатории со многими научными и учебными

организациями Карелии и в целом России, а также с институтами Финляндии, Польши, Швеции, Канады, США. Последние годы он уделял много внимания научным исследованиям в области садкового рыбоводства, поддерживал многочисленные связи с рыбоводными хозяйствами Карелии.

Результаты многогранной исследовательской деятельности Леонида Павловича опубликованы в более чем 370 научных статьях и 10 монографиях. Его многочисленные разработки широко используются в рыбном хозяйстве, при решении проблем охраны и использования природных ресурсов. Все сделанное Л. П. Рыжковым весьма важно не только для развития отечественной ихтиологии и рыбного хозяйства, но и для решения многих биологических и экологических проблем.

Л. П. Рыжков – заслуженный деятель науки РК и РФ, почетный работник высшего профессионального образования (2001), ветеран труда (1989), его деятельность отмечена грамотами, знаками и медалями: «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» (1970), «За доблестный труд» (1971), Бронзовой медалью ВДНХ (1979), медалью имени М. В. Ломоносова (1999), «За заслуги перед Отечеством» (2000), «300-летие Петрозаводска» (2003), орденом Дружбы (2006).

Леонид Павлович всегда останется в памяти добрым, отзывчивым, внимательным и заботливым коллегой, руководителем, преподавателем.

Коллектив лаборатории экологических проблем Севера, преподаватели кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета ПетрГУ

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 заголовке 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 Excel 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 ArialСуг, размер 14. На самом графике не должно быть названия, оно должно быть отражено в подрисунковой 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

- Nemova N. N., Kyavyaryaynen E. I., Nefedova Z. A., Veselov A. E.*
CALCIUM-DEPENDENT PROTEASES (CALPAINS) IN FINGERLINGS (0+) OF ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR* L.) FROM TWO BIOTOPES OF VARZUGA RIVER. . . 7
- Lebedeva N. Sh., Mal'kova E. A., Gubarev Yu. A., V'yugin A. I.*
DEPENDENCE OF BOVINE SERUM ALBUMINE STATE IN SOLUTIONS WITH DIFFERENT DIMETHYLFORMAMIDE CONCENTRATION 12
- Ryzhkov L. P., Dzyubuk I. M.*
BIOLOGY OF WHITEFISH-LUDOGA INHABITING SOUTHWESTERN PART OF ONEGA LAKE 16
- Tumanov I. L.*
JAPANESE WEASEL ON SAKHALIN ISLAND 21
- Parshukov A. N., Sidorova N. A.*
MICROBIOCENOSIS OF CAGE FARM RAINBOW TROUT IN NORTHERN KARELIA . 28
- Pilipko E. N.*
WILD BOAR'S (*SUS SCROFA*) BURROWING ACTIVITY EFFECT ON PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS OF SOIL IN WOOD-SORREL SPRUCE FOREST IN BELOZERSK DISTRICT OF VOLOGDA REGION . 34

MEDICAL SCIENCES

- Stafeeva I. V., Subbotina N. S., Dudanov I. P.*
STATE OF BRAIN ACTIVITY AFTER CAROTID ENDARTERECTOMY IN EARLY RECOVERY PHASE OF ISCHEMIC STROKE . . 40
- Stepanova E. M., Lugovaya E. A., Vinogradova I. A.*
ELEMENT "PORTRAIT" OF STUDENTS IN RUSSIAN NORTHERN REGIONS. 44
- Solov'eva N. V.*
MECHANISMS OF LIVER FUNCTIONS AND LARGE INTESTINE MICROBIOCENOSIS DISORDERS IN CHRONIC B AND C VIRAL HEPATITIS AND THEIR PROBIOTIC CORRECTION 52
- Usenko G. A., Demin A. A., Usenko A. G., Vasendin D. V.*
FEATURES OF VASCULAR WALLS' REMODELING IN PATIENTS SUFFERING FROM ARTERIAL HYPERTENSION AND CHARACTERIZED BY DIFFERENT TEMPERAMENTS AND ANXIETY LEVELS 59

AGRICULTURAL SCIENCES

- Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Tkachenko Yu. N.*
PARTICLE SIZE COMPOSITION FEATURES OF AUTOMORPHIC SOILS IN NORTH- AND MID-TAIGA SUBZONES OF KARELIA . . 65

- Sungurova N. R., Sungurov R. V., Gaevskiy N. P.*
ANALYSIS OF ARTIFICIAL REFORESTATION EFFICIENCY AND SUGGESTIONS ON ITS IMPROVEMENT 71

ENGINEERING SCIENCES

- Orfinskiy V. P.*
PHENOMENON OF TRANSFIGURATION CHURCH OF KIZHI CHURCHYARD 77
- Borisov A. Yu.*
ASPEN WOOD AS ROOF CONSTRUCTION MATERIAL. 87
- Tikhonov I. I., Yakusheva T. V.*
FOREST MANAGEMENT TECHNOLOGY WITH CONSTANCY ROAD TRANSPORT DEVELOPMENT SCHEMES FELLING AREA. 91

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

- Zhurkin D. V., Rabinovich A. L.*
MONTE CARLO STUDY OF GEOMETRIC, THERMODYNAMIC PROPERTIES AND FLEXIBILITY OF HYDROCARBON CHAIN MOLECULES. 96
- Romanov V. V., Nizhnik Ya. P., Fofanov A. D.*
CONFORMATIONAL ANALYSIS OF CATIONIC COMPLEXES OF HETEROAROMATIC N-OXIDE 104
- Levin V. M.*
ON PROBLEM SOLUTION OF ISOLATED INHOMOGENEITY IN POROUS MEDIUM UNDERGOING ELECTROKINETIC PHENOMENA 108
- Andreeva E. A., Mazurova I. S.*
NUMERICAL METHODS OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TRAINING 111
- Khvorostyanskaya E. V.*
LIMIT DISTRIBUTION OF GIVEN SIZE TREES' NUMBER IN GALTON-WATSON FOREST WITH LIMITED NUMBER OF VERTICES 115

Reviews

- Loyter S. M.*
The book review: Zilber A. P. Doctors – true enthusiasts: Essays about doctors renowned for their practice outside official field of medicine 119

Memory

- In memory of Ryzhkov L. P. 122
- Info for the authors** 123