

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

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

№ 3 (172). Март, 2018

---

Главный редактор

*А. В. Воронин*, доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

*С. Г. Веригин*, доктор исторических 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](mailto:uchzap@mail.ru)

**[uchzap.petrSU.ru](http://uchzap.petrSU.ru)**

## Редакционный совет

- В. Н. БАРЫШНИКОВ**  
доктор исторических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Россия)
- В. Н. БОЛЬШАКОВ**  
доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН (Екатеринбург, Россия)
- Ю. А. ВАСИЛЬЕВ**  
доктор исторических наук, профессор, Московский гуманитарный университет (Москва, Россия)
- М. А. ВИТУХНОВСКАЯ**  
доктор философии, Хельсинкский университет (Хельсинки, Финляндия)
- И. П. ДУДАНОВ**  
доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия)
- В. Н. ЗАХАРОВ**  
доктор филологических наук, профессор, Президент международного общества Достоевского (Москва, Россия)
- С. Т. ЗОЛЯН**  
доктор филологических наук, профессор, Национальная академия наук Армении (Ереван, Армения)
- Ю. ИНОУЭ**  
кандидат филологических наук, профессор кафедры русского языка, Университет Дзёти (Токио, Япония)
- А. С. ИСАЕВ**  
доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Московский государственный университет леса (Москва, Россия)
- Т. П. ЛЁННГРЕН**  
доктор философии по филологии, Арктический университет Норвегии (Тромсё, Норвегия)
- И. И. МУЛЛОНЕН**  
доктор филологических наук, профессор, Карельский научный центр РАН (Петрозаводск, Россия)
- С. А. МЫЗНИКОВ**  
доктор филологических наук, профессор, Российский государственный педагогический университет имени А. И. Герцена (Санкт-Петербург, Россия)
- В. А. ПЛУНГЯН**  
доктор филологических наук, профессор, академик РАН, Институт русского языка имени В. В. Виноградова РАН (Москва, Россия)
- Т. РУСЕН**  
доктор философии, Гётеборгский университет (Гётеборг, Швеция)
- Е. С. СЕНЯВСКАЯ**  
доктор исторических наук, профессор, Институт российской истории РАН (Москва, Россия)
- К. СКВАРСКА**  
доктор философии, Славянский институт Академии наук Чешской Республики (Прага, Чехия)
- А. Ф. ТИТОВ**  
доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Карельский научный центр РАН (Петрозаводск, Россия)
- Н. А. ФАТЕЕВА**  
доктор филологических наук, Институт русского языка имени В. В. Виноградова РАН (Москва, Россия)

## Редакционная коллегия

- А. Е. БОЛГОВ**  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия)
- Г. Г. БОРИСОВА**  
доктор географических наук, профессор, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Россия)
- В. В. ВАПИРОВ**  
доктор химических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия)
- Н. В. ВАСИЛЕВСКАЯ**  
доктор биологических наук, профессор, Мурманский государственный арктический университет (Мурманск, Россия)
- Т. О. ВОЛКОВА**  
доктор биологических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия)
- Э. КАЙБЕЯЙНЕН**  
кандидат биологических наук, Университет Восточной Финляндии (Йоэнсуу, Финляндия)
- Ю. П. КУРХИНЕН**  
доктор биологических наук, Университет Хельсинки (Хельсинки, Финляндия)
- Е. Ф. МАРКОВСКАЯ**  
доктор биологических наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия)
- С. П. МАСЛОВА**  
доктор биологических наук, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (Сыктывкар, Россия)
- А. Ю. МЕЙГАЛ**  
доктор медицинских наук, профессор, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Россия)
- Е. Э. МУЧНИК**  
доктор биологических наук, Института лесоведения РАН (с. Успенское, Россия)
- Н. Н. НЕМОВА**  
доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Карельский научный центр РАН (Петрозаводск, Россия)
- Г. П. УРБАНАВИЧЮС**  
кандидат географических наук, Кольский научный центр РАН (Апатиты, Россия)
- В. В. ЩИПЦОВ**  
доктор геолого-минералогических наук, профессор, Карельский научный центр РАН (Петрозаводск, Россия)

---

ISSN 2542-1077 (Print)  
ISSN 1994-5973 (Online)

Ministry of Education and Science  
of the Russian Federation

Scientific Journal

**PROCEEDINGS  
OF PETROZAVODSK  
STATE UNIVERSITY**

(following up 1947–1975)

**№ 3 (172). March, 2018**

---

Chief Editor

*Anatoliy V. Voronin*, Doctor of Technical Sciences, Professor

Chief Deputy Editor

*Sergey G. Verigin*, Doctor of Historical Sciences, Professor

*Ernest V. Ivanter*, Doctor of Biological Sciences, Professor,

The RAS Corresponding Member

*Vladimir S. Syuney*, 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](mailto:uchzap@mail.ru)

**[uchzap.petrSU.ru](http://uchzap.petrSU.ru)**

© FBSEI «Petrozavodsk State University (PetrSU)», 2018

## Editorial Council

- V. BARISHNIKOV**  
Doctor of Historical Sciences, Professor,  
Saint Petersburg State University (Saint Petersburg, Russia)
- V. BOL'SHAKOV**  
Doctor of Biological Sciences, Professor,  
the RAS Corresponding Member, Institute of Plant and Animal  
Ecology, Ural division of RAS (Ekaterinburg, Russia)
- YU. VASIL'EV**  
Doctor of Historical Sciences, Professor,  
Moscow University for the Humanities (Moscow, Russia)
- M. VITUKHNOVSKAYA**  
Doctor of Philosophy, University of Helsinki  
(Helsinki, Finland)
- I. DUDANOV**  
Doctor of Medical Sciences, Professor, the RAS Corresponding  
Member, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russia)
- V. ZAKHAROV**  
Doctor of Philological Sciences, Professor, President  
of the International Dostoevsky Society (Moscow, Russia)
- S. ZOLYAN**  
Doctor of Philological Sciences, Professor,  
Armenian National Academy of Sciences  
(Yerevan, Armenia)
- Y. INOUE**  
Professor, University of Dzeti  
(Tokyo, Japan)
- A. ISAYEV**  
Doctor of Biological Sciences, Professor,  
the RAS Corresponding Member, Moscow State  
Forest University (Moscow, Russia)
- T. LÖNNGREN**  
Doctor of Philosophy and Philology,  
Arctic University of Norway (Tromsø, Norway)
- I. MULLONEN**  
Doctor of Philological Sciences, Professor,  
Karelian Research Centre of RAS  
(Petrozavodsk, Russia)
- S. MIZNIKOV**  
Doctor of Philological Sciences, Professor,  
Herzen State Pedagogical University (Saint Petersburg, Russia)
- V. PLUNGIAN**  
Doctor of Philological Sciences, Professor, The RAS Academician,  
Vinogradov Institute of the Russian Language of RAS (Moscow, Russia)
- TH. ROSÉN**  
Doctor of Philosophy, University of Gothenburg  
(Göteborg, Sweden)
- E. SENYAVSKAY**  
Doctor of Historical Sciences, Professor,  
Institute of Russian History of RAS (Moscow, Russia)
- K. SKWARSKA**  
Doctor of Philosophy, Slavonic Institute  
of the Academy of Sciences of Czech Republic  
(Prague, Czech Republic)
- A. TITOV**  
Doctor of Biological Sciences, Professor, the RAS Corresponding  
Member, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russia)
- N. FATEEVA**  
Doctor of Philological Sciences,  
Vinogradov Institute of the Russian Language of RAS  
(Moscow, Russia)

## Editorial Board

- A. BOLGOV**  
Doctor of Agricultural Sciences, Professor,  
Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russia)
- G. BORISOVA**  
Doctor of Geographical Sciences, Professor,  
Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)
- V. VAPIROV**  
Doctor of Chemistry, Professor,  
Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russia)
- N. VASILEVSKAYA**  
Doctor of Biological Sciences, Professor, Murmansk Arctic  
State University (Murmansk, Russia)
- T. VOLKOVA**  
Doctor of Biological Sciences, Professor,  
Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russia)
- E. KAIPIAINEN**  
Doctor of Philosophy, University of Eastern Finland  
(Joensuu, Finland)
- YU. KURHINEN**  
Doctor of Biological Sciences, University of Helsinki  
(Helsinki, Finland)
- E. MARKOVSKAYA**  
Doctor of Biological Sciences, Professor,  
Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russia)
- S. MASLOVA**  
Doctor of Biological Sciences, Komi Science Centre  
of the Ural department of RAS (Syktyvkar, Russia)
- A. MEYGAL**  
Doctor of Medical Sciences, Professor,  
Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russia)
- E. MUCHNIK**  
Doctor of Biological Sciences, Institute of Forest Science  
of RAS (Uspenskoe, Russia)
- N. NEMOVA**  
Doctor of Biological Sciences, Professor, the RAS Corresponding  
Member, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russia)
- G. URBANAVICHUS**  
Candidate of Geographical Sciences, Kola Science Centre  
of RAS (Apatity, Russia)
- V. SHCHIPTSOV**  
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,  
Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russia)

## СОДЕРЖАНИЕ

## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Ивантер Э. В.

Опыт экологического анализа морфофизиологических особенностей мелких млекопитающих. Сообщение I. Общая характеристика интерьерных признаков. . . . . 7

Медведева М. В., Мамай А. В., Бахмет О. Н., Мошкина Е. В.

Микробиологические основы трансформации азот- и углеродсодержащих соединений в почвах урбанизированных территорий. . . . . 20

Василевская Н. В., Сидорчук А. В.

Воздействие промышленного загрязнения комбината «Печенганикель» на динамику роста *Sorbus gorodkovii* Rojark (Мурманская область). . . . . 28

Лепешева И. А., Болгов А. Е.

Полифакторность ранних эмбриональных потерь у молочных коров. . . . . 36

Новицкий Д. Г., Ильмаст Н. В., Слуковский З. И., Суховская И. В.

Биогеохимические аспекты загрязнения водоемов урбанизированных территорий в Республике Карелия на примере окуня (*Perca fluviatilis*). . . . . 42

Савосин Д. С., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Савосин Е. С., Милянчук Н. П.

Современное состояние популяции ряпушки *Coregonus albula* Гимольского озера (Западная Карелия). . . . . 52

Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Лукина Н. В., Борисова Г. Г., Чукина Н. В., Малева М. Г., Грошева С. Н.

*Eriopactis palustris* (L.) Crantz на золотвале Нижнетуринской ГРЭС и в естественном местобитании. . . . . 58

Васильева Е. Н.

Биологические и селекционные факторы повышения качества генотипа производителей айрширской породы скота на основе их генетической оценки. . . . . 67

Лыман М. С., Барулин Н. В.

Влияние оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы и личинки радужной форели. . . . . 72

Паринова Т. А., Волков А. Г., Перкова А. А.

Ресурсный потенциал пойменных лугов Архангельской области. . . . . 81

Сухарева Т. А.

Элементный состав зеленых мхов фоновых и техногенно нарушенных территорий. . . . . 89

Черепанова Н. С., Широков В. А., Георгиев А. П.

Особенности биологии и промысла леща (*Abramis brama* L.) в некоторых озерах Республики Карелия. . . . . 97

Урбанавичюс Г. П., Фадеева М. А.

Находки новых и редких видов для лишенофлоры заповедника «Пасвик» (Мурманская область). . . . . 104

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

Малева М. Г., Чукина Н. В., Борисова Г. Г., Седяева О. В., Паниковская К. А.

Ответные реакции *Elodea canadensis* на действие ионов кадмия и цинка. . . . . 111

## Рецензии

Чернобровкина Н. П.

Рец. на кн.: Марковская Е. Ф., Шмакова Н. Ю. Растения и лишайники Западного Шпицбергена: экология, физиология. . . . . 119

Ветчинникова Л. В.

Рец. на кн.: Гербарий Петрозаводского государственного университета: история, коллекционный фонд, коллекторы, использование в научной и педагогической деятельности. . . . . 122

Научная информация. . . . . 123

Contents. . . . . 124

**Журнал «Ученые записки Петрозаводского государственного университета» включен в новый Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, с 01.12.2015 года по отрасли «Биологические науки», специальности: «Общая биология» и «Физико-химическая биология»**

**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](http://www.rucont.ru)**

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

**Сведения о журнале и его архиве передаются в открытую научную электронную библиотеку «CYBERLENINKA» и размещаются по адресу: [cyberleninka.ru](http://cyberleninka.ru)**

**Требования к оформлению статей см.:  
<http://uchzap.petrSU.ru/files/reg.pdf>**

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

Редактор С. Л. Смирнова. Корректор И. Н. Дьячкова. Переводчик Н. К. Дмитриева. Верстка Ю. С. Марковой

Дата выхода в свет 30.03.2018. Формат 60 × 90 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 75 экз.). Изд. № 48

Индекс 66094. Цена свободная.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-69487  
от 25 апреля 2017 г. выд. Федеральной службой по надзору в сфере связи,  
информационных технологий и массовых коммуникаций

Отпечатано в типографии Издательства Петрозаводского государственного университета

Адрес редакции, издателя и типографии:

185910, Республика Карелия,

г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

**ЭРНЕСТ ВИКТОРОВИЧ ИВАНТЕР**

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой зоологии и экологии Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*Ivanter@petsu.ru*

## ОПЫТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

### Сообщение I. Общая характеристика интерьерных признаков

На материалах многолетних исследований рассматриваются морфофизиологические (интерьерные) особенности мелких млекопитающих как целостной и своеобразной экологической группы животных, отличающихся в силу мелких размеров высоким уровнем метаболизма и низкой индивидуальной стойкостью к воздействию неблагоприятных факторов. Это компенсируется приобретением ими высокой групповой (популяционной) стойкости и выработкой эффективных приспособительных реакций. На основе применения выдвинутого С. С. Шварцем метода морфофизиологических индикаторов изучена специфика энергетического обмена, химической терморегуляции и связанных с ними закономерностей изменения морфофизиологических реакций. В итоге выявлены конкретные пути приспособления мелких млекопитающих к жизни на характеризующейся постоянными термическими дефицитами и скудностью кормов северной периферии ареала.

Ключевые слова: популяция, морфофизиологические индикаторы, адаптивные реакции, рост и развитие, внутренние органы

Разработанный академиком С. С. Шварцем (см.: [19], [21], [22]) метод морфофизиологических индикаторов нашел достаточно широкое применение в практике полевой зооэкологии. Не забыт он и сегодня, хотя долгая и достаточно противоречивая история его становления многое расставила по своим местам, убрав присущие ему когда-то и излишнее наукообразие, и псевдомодернистскую привлекательность для молодежи. Вместе с тем его использование связано с рядом серьезных трудностей, главная из которых – адекватная биологическая интерпретация полученных данных. Единственный эффективный путь преодоления этих трудностей – дальнейшее углубленное исследование интерьерных особенностей животных, накопление большого и достоверного фактического материала, особенно по видам, экологическая изученность которых остается недостаточной. Все это в полной мере относится и к предмету нашего рассмотрения – мелким млекопитающим, которые в силу малых размеров и несовершенства терморегуляции характеризуются своеобразными морфофизиологическими адаптациями, не всегда поддающимися прямой расшифровке с экологических и микроэволюционных позиций.

В настоящей статье сделана попытка дополнить, расширить и углубить сведения о морфофизиологических особенностях мелких насекомоядных и грызунов таежного Севера. Такой подход предполагает экологическое освещение интерьерных индексов и анализ морфофизиоло-

гических механизмов адаптаций животных разного пола и возраста (а также различных внутрипопуляционных группировок и популяций в целом) к периодическим изменениям внешних условий, и рассмотрение этих процессов в развитии на протяжении полного жизненного цикла зверька. При этом первое, с чего следует начать, приступая к рассмотрению интерьерных признаков изучаемых видов, это анализ такого важного и информативно емкого морфофизиологического показателя, как вес тела, и, в частности, рассмотрение характера его сезонно-возрастных изменений на протяжении жизненного цикла животного. И поскольку этот процесс в группах насекомоядных и грызунов во многом протекает по-разному, то и рассматривать его придется отдельно. Что касается землероек, то у них это явление изучалось довольно подробно [3], [6], [31], [40]. По данным этих авторов, молодые бурозубки в первые месяцы жизни достигают примерно половины размеров взрослых, после чего наступает период относительной стабилизации, а затем – снижения веса в зимний период. Весной отмечается «прыжок роста», в результате которого вес тела за 2–3 месяца увеличивается вдвое, а к осени происходит новое снижение. Наши материалы, относящиеся к карельской популяции обыкновенной бурозубки, в общем согласуются с данными других исследователей. Все же мы остановимся на них подробнее, так как большинство рассматриваемых ниже интерьерных показателей тесно связано с общими

размерами животных. Кроме того, вес тела и сам по себе является хорошим морфофизиологическим индикатором, чутко реагирующим на внешние и внутренние (популяционные) факторы.

Данные табл. 1 и рис. 1 показывают средние за все годы исследований изменения веса тела самцов и самок в различные месяцы полного жизненного цикла обыкновенной бурозубки. От июня к августу вес молодых землероек изменяется незначительно и находится в состоянии стабилизации на сравнительно невысоком уровне; в сентябре – октябре несколько увеличивается, а в дальнейшем прогрессивно уменьшается, достигая минимума в феврале – марте.

В апреле – мае, то есть в период активного полового созревания, наблюдается чрезвычайно резкое увеличение веса тела, составляющее по отношению к зимнему периоду более 60 %. После «весеннего скачка» вес тела зверьков снова уменьшается и к концу лета – началу осени находится на уровне, близком к среднегодовому. Таким образом, с октября по февраль – март вес тела молодых самцов уменьшается в среднем на 1,5 г (20,6 %), самок – на 2 г (27,4 %), весной увеличение у самцов составляет 3,7 г (63,7 %), у самок – 3,5 г (63,6 %), а падение к следующей осени – соответственно 0,6 г (6,0 %) и 1,4 г (12,5 %).

Таблица 1

Сезонно-возрастные изменения веса тела обыкновенной бурозубки (г)

Исследованная группа	Сезон	n	lim	M ± m	α	C <sub>p</sub>
Самцы						
Прибылые	Лето	283	4,0–9,0	6,8 ± 0,05	0,9	13,2
	Осень	80	3,9–8,9	7,1 ± 0,1	0,9	12,5
	Зима	48	4,8–8,7	5,9 ± 0,1	0,8	12,7
Зимовавшие	Весна	33	4,8–12,6	7,9 ± 0,1	0,8	10,1
	Лето	127	6,3–10,8	9,6 ± 0,1	1,1	11,4
	Осень	15	7,0–13,0	10,2 ± 0,4	1,5	15,1
Самки						
Прибылые	Лето	255	5,1–9,2	7,1 ± 0,04	0,7	10,4
	Осень	84	5,9–9,3	7,2 ± 0,1	0,7	10,0
	Зима	30	4,5–8,6	5,7 ± 0,2	1,1	21,2
Зимовавшие	Весна	22	4,4–12,2	7,0 ± 0,2	0,9	13,5
	Лето	106	6,2–15,7	10,6 ± 0,2	1,9	17,9
	Осень	20	6,5–11,8	9,1 ± 0,3	1,3	14,0

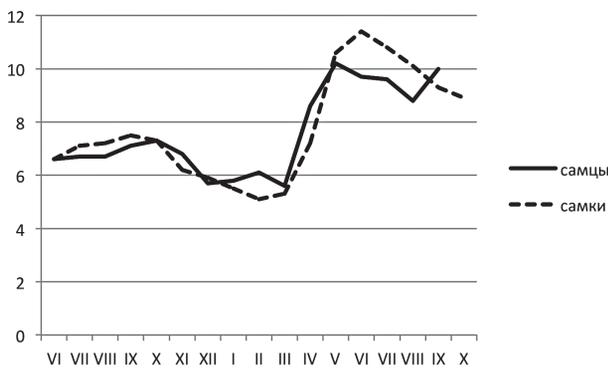


Рис. 1. Изменения веса тела на протяжении жизненного цикла обыкновенной бурозубки. По оси абсцисс – месяцы; по оси ординат – вес тела, г

При одинаковом общем направлении сезонных изменений веса у самцов и самок обращают внимание некоторые половые различия. Прежде всего следует отметить большие средние размеры у молодых самок в июне – декабре, что свидетельствует о более быстром темпе их весо-

вого роста по сравнению с самцами. Во второй половине зимы и особенно весной лидирующее положение по весу тела занимают уже самцы. Это связано как с более глубокой зимней весовой депрессией у самок, так и с более поздним их половым созреванием весной. Следовательно, наш материал подтверждает наличие прямой зависимости между скоростью роста и полового созревания у землероек. В мае самки по размерам догоняют, а в июне значительно перегоняют самцов, что следует отнести за счет беременности и лактации. В то же время осеннее падение веса у взрослых самок гораздо существеннее, так что к концу жизни средний вес тела самцов превышает таковой самок на 1,2 г (11,7 %).

Таким образом, на протяжении полного жизненного цикла особи изучаемого вида испытывают закономерные изменения веса тела, заключающиеся в увеличении в осенние месяцы первого календарного года («первый осенний подъем»), последующем снижении в зимний период («зимняя депрессия»), резком подъеме весной («весенний

скачок») и новом падении осенью, к концу жизни. Совершенно очевидно, что в основе этих чередующихся падений и подъемов лежат конкретные физиологические и экологические механизмы. Однако мы далеко не всегда знаем, какие именно. Труднее всего объяснить осеннее увеличение веса тела сеголеток, тем более что даже по поводу его существования исследователи далеко не единодушны. Некоторые из них [41] не только констатируют осенний весовой подъем, но и обсуждают возможные его причины: в частности, связывают их с утолщением кориума во время осенней линьки. Другие [25] сообщают только об осенней регрессии. Наконец, третьи, описывая уменьшение веса тела бурозубок с сентября по октябрь, относят его за счет расхода резервных питательных веществ в процессе осенней линьки [3], [37].

Немногом яснее причины зимней регрессии массы тела. В. А. Межжерин [11] рассматривает ее как наследственно закрепленную реакцию организма, направленную на сокращение потребления пищи в абсолютных показателях, то есть связывает с ухудшением кормовых условий в зимний период. Ближе к этому мнению подходит Михельсен [35], которая обосновывает гипотезу о связи зимней регрессии веса с внешними условиями (низкой температурой и недостатком пищи). Это согласуется с физиологическими исследованиями Нитхаммера [38], показавшего роль температуры в изменении энергетического баланса и веса тела у *Sorex araneus*. По данным Нитхаммера, чем больше различия между летней и зимней температурой, тем выше зимняя потеря веса тела. Денель [26] отвергал гипотезу зимнего голода как абсурдную. Не подтвердили ее и прямые эксперименты, в которых землеройкам давали пищу в избытке, и все же обнаружили снижение веса на 9,2 % [17]. Денель при описании сезонных изменений в длине и весе тела у бурозубок предположил, что механизм зимней депрессии заключается в дегидратации тела землероек зимой. Эта гипотеза, представляющая весьма вероятной в свете работы А. Д. Слонима [17], получила фактическое подтверждение в исследованиях А. Горецкого [28], М. Пуцек [39] и В. А. Межжерина [11]. Вместе с тем, как справедливо указывает Пуцек, можно допустить, что дегидратация тканей землероек зимой обусловлена изменениями в пище. Автор считает, что зимняя депрессия массы тела представляет собой не наследственно закрепленную адаптацию организма, а связана с неблагоприятными условиями существования, которые возникают для популяции в период зимовки (ухудшение условий добычи корма, вынужденное увеличение энергетических затрат на теплопродукцию и т. п.). Мы также склонны рассматривать зимнюю весовую депрессию скорее как следствие ухудшения экологической обстановки, чем как наследственную

адаптацию организма. В этом убеждают опыты по содержанию бурозубок в неволе: уменьшение массы тела зимой не отмечалось [3], [38].

Весеннее «скачкообразное» увеличение веса тела связано, как уже говорилось, с процессами полового созревания и размножения. Кроме того, определенную роль играет улучшение кормовых и температурных условий. Сокращение веса тела во второй половине лета и осенью обусловлено, очевидно, процессами старения.

Биотопических отличий по весу тела, о которых пишет С. В. Пучковский [16], мы не обнаружили, несмотря на значительный по объему материал [6]. Во всех случаях попарного сравнения различия в размерах землероек из разных биотопов оказались статистически недостоверными (как по критерию Стьюдента, так и Фишера). Следовательно, по крайней мере в отношении веса тела наши данные не подтверждают наличия достаточно четких биотопических группировок. Впрочем, это не удивительно, если учесть весьма значительную подвижность зверьков, препятствующую концентрации их на каких бы то ни было участках и обеспечивающую интенсивное перемешивание особей в процессе сезонных перемещений.

Иначе обстоит дело с годовыми изменениями веса тела. Средние показатели для зверьков, отловленных в одни и те же месяцы (июль – август) разных лет, заметны и статистически достоверно отличаются. Например, молодые зверьки с наибольшим весом тела ловились, как правило, в 1969 и 1970 годах, с наименьшим – в 1968 и 1971 годах. Вес тела самцов в июле – августе 1970 года была на 0,6 г (9 %), а самок на 0,7 г (10,2 %) больше, чем за тот же период 1971 года. Изменяется по годам и вес тела зимовавших бурозубок, однако эти изменения не синхронны с таковыми сеголеток. Наиболее крупные взрослые землеройки ловились обычно на следующий год после отлова молодых особей наибольшего размера. Нетрудно видеть, что в данном случае мы имеем дело с животными одной и той же генерации и что вес их тела, следовательно, определяется условиями существования в год рождения. Тот факт, что наибольшим средним весом тела характеризовались именно генерации 1969 и 1970 годов, подтверждает эту точку зрения, ибо названные годы, действительно, отличались наилучшей экологической обстановкой и высокой численностью зверьков.

Индивидуальная изменчивость веса тела у землероек Карелии как по средним показателям, так и по амплитуде оказалась близкой к соответствующим величинам, приведенным другими исследователями [38]. В среднем коэффициенты изменчивости у прибылых самцов летом составляли 13,2 %, самок – 10,4 %, осенью – 12,5 и 10,0, зимой – 12,7 и 21,2, весной – 10,1 и 13,5,

летом у зимовавших – 11,4 и 18 % соответственно. Таким образом, у неполовозрелых особей большей изменчивостью веса тела отличаются самцы, а у половозрелых – самки. Максимальный коэффициент вариации имели взрослые самки в августе (19,7 %), минимальный – самцы и самки в зимний период (6,9–8,1 %). Сравнительно слабый разброс значений коэффициентов вариации свидетельствует о небольшом диапазоне индивидуальной изменчивости бурозубок по весу тела. Подробнее этот вопрос обсуждается нами в сообщении II.

Сезонно-возрастные изменения массы тела у рыжей полевки имеют закономерный характер и зависят от времени рождения зверьков (рис. 2, табл. 2). Полевки майских и июньских выводков (ранние генерации) растут очень быстро, особенно в первые три месяца жизни. Наоборот, животные летне-осеннего рождения отличаются низким темпом весового роста. К концу осени они имеют минимальные размеры, перезимовывают в таком состоянии и лишь весной следующего года, образуя группу зимовавших, резко увеличивают скорость роста («весенний скачок»).

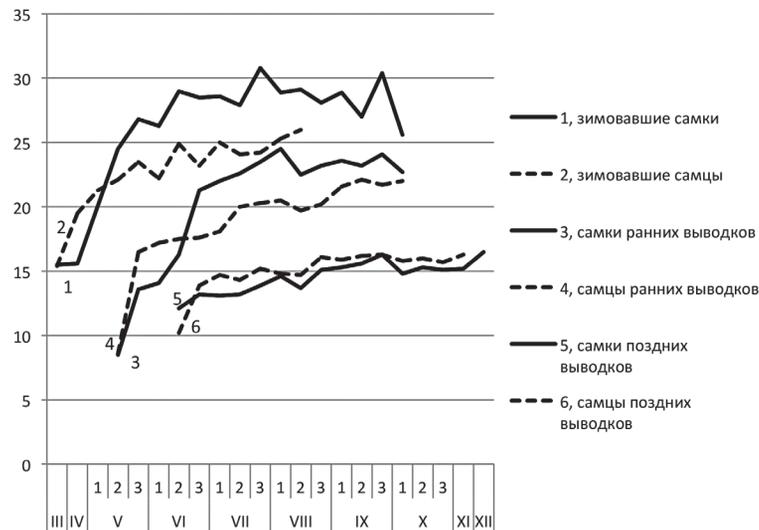


Рис. 2. Весовой рост зимовавших и прибылых рыжих полевок разного времени рождения. По оси абсцисс – месяцы и декады; по оси ординат – вес тела, г

Таблица 2

## Сезонно-возрастные изменения веса тела рыжей полевки (г)

Исследованная группа	Сезон	n	lim	$M \pm m$	$\alpha$	$C_p$	
Самцы							
Прибылые	ранние	Лето	249	8,5–35,1	$18,6 \pm 0,2$	3,6	19,2
		Осень	4	12,6–17,7	$15,9 \pm 1,1$	2,3	14,5
	поздние	Лето	227	6,4–24,1	$15,6 \pm 0,2$	3,0	19,0
		Осень	118	10,0–23,9	$15,9 \pm 0,2$	2,3	14,2
		Зима	5	14,4–16,3	$15,3 \pm 0,2$	0,5	3,3
Зимовавшие	Весна	12	13,8–27,3	$21,9 \pm 0,8$	2,9	13,2	
	Лето	135	18,6–33,7	$24,9 \pm 0,3$	3,1	12,3	
	Осень	3	21,5–23,3	22,9	–	–	
Самки							
Прибылые	ранние	Лето	153	9,0–39,0	$20,7 \pm 0,4$	5,5	26,8
		Осень	26	11,1–26,4	$20,8 \pm 0,8$	4,1	19,7
	поздние	Лето	118	8,6–26,9	$14,8 \pm 0,3$	3,1	21,1
		Осень	71	11,1–24,3	$16,1 \pm 0,3$	2,5	15,6
		Зима	10	13,6–18,5	$15,6 \pm 0,2$	0,8	5,1
Зимовавшие	Весна	10	15,2–30,2	$21,2 \pm 1,4$	4,4	20,7	
	Лето	66	20,1–42,7	$29,4 \pm 0,6$	5,2	17,6	
	Осень	1	27,0	27,0	–	–	

Связь полового созревания молодых полевок разного времени рождения со скоростью их роста, помимо представленных рисунков, иллюстрируют следующие цифры. По многолетним данным, средние размеры тела у зверьков ранних выводков в первый месяц их появления в уловах (в июне) составили 13,2 г, а у сеголеток поздних выводков (в июле) – 13,0. Следовательно, скорость роста в гнезде у них приблизительно одинаковая. Но в дальнейшем они все более различаются. На втором месяце жизни (в июле) прибылые раннего рождения имеют средний вес тела 19,3 г, тогда как сеголетки поздних выводков в том же возрасте (в августе) – только 14,4 г. На третьем месяце жизни у прибылых ранних выводков – 22,2 г, поздних – 15,3. Если самцы и самки ранних генераций за первый месяц самостоятельной жизни по отношению к исходным показателям прибавляют 6,3 г (46,2 %), то прибылые поздних выводков – только 1,4 г (10,7). Привес за второй месяц у ранних прибылых равен 2,9 г (15 %), у поздних – 1,1 г (7,6). К третьему месяцу жизни вес тела прибылых ранних выводков составил по отношению к размерам при выходе из гнезда 168 % (прирост –

9 г), а у прибылых поздних рождений – 116 % (2,3 г).

Непосредственной причиной различий в темпах роста и развития зверьков разных генераций может быть прямое воздействие среды. У полевок, родившихся весной, период роста падает на наиболее благоприятное время, отсюда и высокий темп их роста и созревания. Полевки же из поздних выводков развиваются на фоне менее благоприятных условий (низкие температуры, ненастье, дефицит корма), поэтому рост их замедлен. Косвенным подтверждением этого служит тот факт, что при изменении экологических условий (например, в ситуациях высокой и низкой численности) интенсивность роста и развития сеголеток меняется. В годы депрессии численности она минимальна, а в годы пика максимальна. К тому же и упитанность (а не только темпы роста и развития) оказывается у зверьков осенней генерации заметно ниже, чем у зимовавших и прибылых ранних выводков (табл. 3). С другой стороны, нельзя совершенно исключить роль генетических факторов, поскольку ранние и поздние генерации имеют разное происхождение и неодинаковый генофонд.

Таблица 3

Упитанность (отношение веса к длине тела) у самцов рыжей полевки разного возраста

Месяц	Зимовавшие	Прибылые ранних выводков	Прибылые поздних выводков
Май	0,238	–	–
Июнь	0,247	0,183	–
Июль	0,248	0,210	0,174
Август	0,252	0,224	0,170
Сентябрь	–	0,218	0,195
Октябрь	–	0,233	0,195

В последние годы в зоологической литературе появился ряд сообщений о наличии у мелких грызунов явления зимней регрессии веса тела [14], [26], [27], [31]. Однако, в отличие от эффекта Денеля, описанного у землероек, у грызунов зимняя регрессия затрагивает лишь общие размеры (массу) тела и к тому же проявляется не столь глубоко, как у бурозубок.

Проведенное нами изучение сезонных колебаний веса тела у рыжих полевок Карелии выявило два сезонных минимума, соответствующих критическим периодам в жизни прибылых зверьков. Первый – осенний (вторая половина октября), когда снежный покров еще не установился, плохо защищает животных и энергетические траты их вследствие холодной погоды возрастают, и второй – среднезимний (в декабре – январе), связанный с наступлением сильных и длительных холодов, но менее выраженный, очевидно, из-за хорошей снежной защиты и завершения перестройки терморегуляции зверьков на зимний ва-

риант. Как известно, наиболее распространенным объяснением предзимнего и зимнего снижения веса тела у млекопитающих является «энергетическая» гипотеза. По В. А. Межжерину, уменьшение размеров тела к зиме и зимой, которое отмечается у ряда видов птиц и млекопитающих, можно рассматривать как движение системы к ее энергетическому оптимуму, что в условиях недостатка пищи и низких температур следует признавать целесообразным [11: 109]. С этой точки зрения мелкие размеры и связанная с ними незрелость, очевидно, способствуют более успешной перезимовке зверьков, так как потребности у них меньше, а устойчивость к неблагоприятным воздействиям выше. На адаптивный характер явления зимней регрессии веса тела указывают, в частности, закономерные географические изменения ее величины и выраженности. По данным Яна Зейды [42], в Центральной Европе рыжие полевки наиболее приспособлены к перенесению неблагоприятных условий зимы при массе

20 г, в Польше – 18 г, в Швеции – 16 г. Если присовокупить к этому наши данные по Карелии (15–16 г) и данные В. Г. Оленева [14] (14–17 г), то налицо четкая географическая закономерность, согласно которой по направлению к северу вес, благоприятный для зимовки, постепенно снижается. Аналогичный феномен мы обнаружили и у землероек: выраженность и амплитуда предзимнего и зимнего падения веса, сокращения длины тела и уплощения черепной коробки, то есть всего, что составляет явление Денеля, также увеличивается с юга на север.

На рис. 2 показаны годовые изменения веса тела у рыжих полевок разного возраста в летний период (июль – август). Сопоставление этих данных с уровнем численности популяции подтверждает связь размеров тела зверьков с фазами популяционного цикла. В период спада численности и депрессии (1967–1968, 1971–1972 годы) средний вес тела грызунов был достоверно ниже, чем при нарастании плотности и максимальной численности (1966, 1969–1970, 1973 годы). Это прослеживается по всем возрастным и половым группам, но в разной степени. У зимовавших и, особенно, прибылых ранних генераций увеличение темпов весового роста в годы подъема численности полевок и соответствующее снижение весовых показателей в фазе депрессии проявляются наиболее четко. В то же время у полевок поздних рождений эта связь выражена слабее.

Коэффициенты вариации веса тела свидетельствуют о наличии годовой, сезонно-возрастной и половой индивидуальной изменчивости данного показателя. Наиболее вариабельны размеры тела в годы подъема численности зверьков. У самцов диапазон индивидуальной изменчивости ниже, чем у самок (коэффициенты вариации в среднем по всем возрастным группам составляют соответственно 16,5 и 21,8 %), а у зимовавших – ниже, чем у молодых (14,9 против 19,2 %). В общем изменчивость размеров тела колеблется у рыжей полевки от 4–6 (у поздних прибылых зимой) до 21–27 % (сеголетки ранних выводков летом). Это говорит о сравнительно небольшом диапазоне индивидуальной изменчивости рыжих полевок по весу тела и противоречит традиционным представлениям о крайней вариабельности этого показателя, препятствующей его использованию в качестве одного из морфофизиологических индикаторов. Что же касается весовых индексов органов, то к настоящему времени вполне можно считать твердо установленным правило обратной зависимости относительной величины органов от размеров тела. Обычно это связывают с законом поверхности Рубнера, трактуя закономерное уменьшение основного обмена с возрастанием веса тела и соответствующим сокращением его поверхности. «Правило величины» (называемое также «правилом рядов Гессе») подтверждается многочисленными ис-

следованиями (сводку данных см.: [1], [37]), и, хотя, как мы видели выше, оно проявляется и при внутривидовом сравнении (например, у зверьков разного возраста, пола, в разные годы, из разных биотопов), все же наиболее четкое воплощение находит в межвидовых различиях.

Вместе с тем следует иметь в виду и ряд исключений из этого правила. Прежде всего оно часто «не срабатывает» при сопоставлении видов из разных семейств и особенно отрядов. По образному выражению Л. Н. Добринского [4], при рассмотрении видов из разных отрядов «исключения из “правила рядов” сами становятся “правилом”». Однако даже в пределах рода или семейства относительные размеры внутренних органов связаны с весом тела непропорциональной зависимостью. В результате характерная для данного вида конкретная величина того или иного интерьерного показателя определяется не абсолютными размерами животных, а их положением по размерам в данной систематической группе [22]. Наконец, и это самое главное, многочисленные исключения из «правила рядов» указывают на характерные морфофизиологические перестройки, не связанные с «законом поверхности», а обусловленные корректирующим действием экологических факторов и самими адаптивными реакциями животных. С этих позиций анализ подобных «исключений» дает ценнейший материал для изучения морфофизиологических механизмов приспособления и адаптивных преобразований популяций и видов, способствует выявлению их экологической специфики и представляет поэтому особый интерес.

Размеры сердца считаются хорошим показателем активности животных, определяющим степень их энергетических затрат, и прежде всего на движение [1], [2], [19], [21], [29], [30], [39]. Более активные, подвижные, способные переносить большие физические нагрузки и длительное мышечное напряжение виды отличаются увеличенным сердечным индексом. В ряде исследований показано, что изменение условий среды или образа жизни животных, требующее повышения уровня их метаболизма (энергетических затрат), как и вызывающие его биологические особенности, в том числе уменьшение размеров тела (влекущее за собой увеличение площади теплоотдачи), возрастание общей двигательной активности, понижение температуры среды, рост, размножение и др., приводит к увеличению размеров сердца и интенсификации его функции [10], [22], [30].

Наши данные в общих чертах подтверждают это: более подвижные, отличающиеся более интенсивным обменом веществ и способные к быстрому повышению энергетики землеройки имеют сердечный индекс в 1,5–2 раза выше, чем близкие им по размерам грызуны (табл. 4, рис. 3). Внутри групп насекомоядных и грызунов эта

закономерность тоже сохраняется, за исключением куторы, большой сердечный индекс которой является результатом полуводного образа жизни, а не более высокого уровня обмена [1]. Выделяется по относительной величине сердца и лесная мышовка, но у нее это связано с высокой

двигательной активностью и общей сложностью движений, свойственной данному виду как представителю надсемейства тушканчиковых. Наконец, высокий индекс сердца у крота – следствие адаптации к подземному образу жизни и интенсивному рытью почвы.

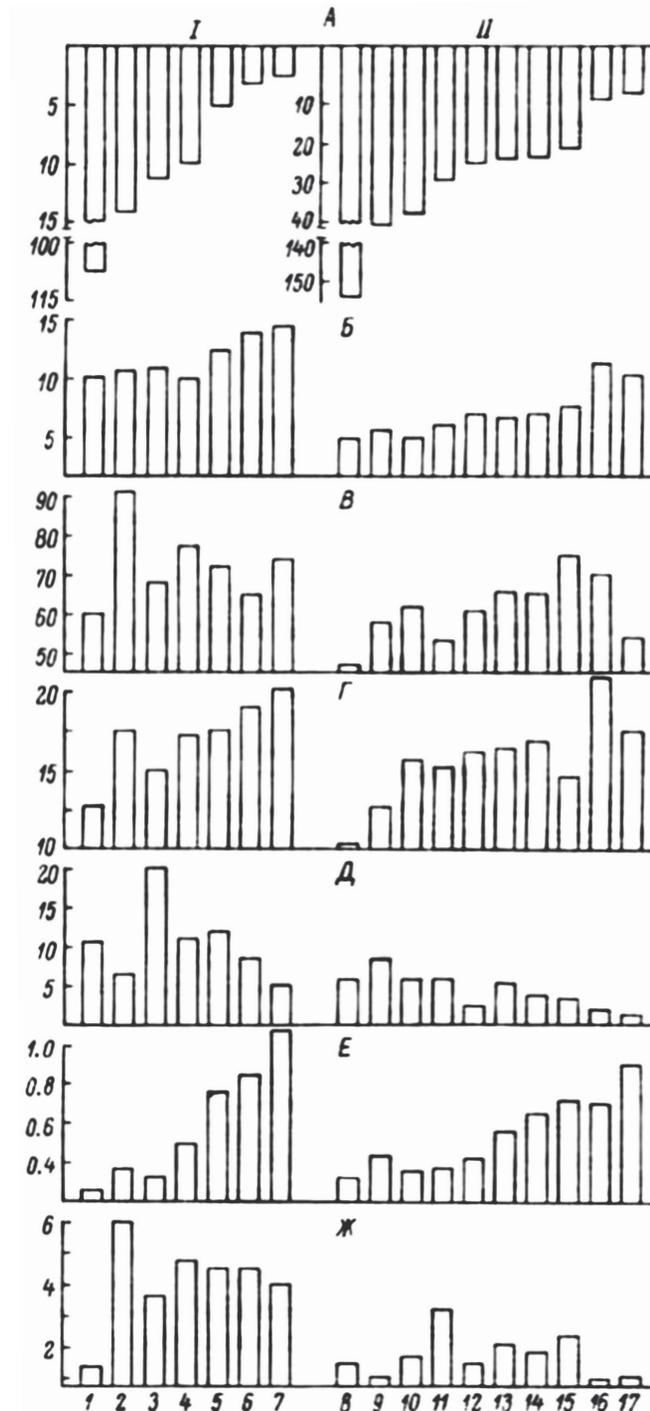


Рис. 3. Зависимость относительных размеров внутренних органов от веса тела (г) у различных видов насекомоядных (I) и грызунов (II). А – вес тела; Б – сердце; В – печень; Г – почки; Д – селезенка; Е – надпочечники; Ж – тимус. I – крот; 2 – кутора; 3 – равнозубая бурозубка; 4 – обыкновенная бурозубка; 5 – средняя бурозубка; 6 – малая бурозубка; 7 – крошечная бурозубка; 8 – водяная полевка; 9 – полевка-экономка; 10 – темная полевка; 11 – обыкновенная полевка; 12 – полевая мышь; 13 – рыжая полевка; 14 – красная полевка; 15 – лесной лемминг; 16 – лесная мышовка; 17 – мышь-малютка. По оси ординат – индекс органа, мг %

Таблица 4

Относительные размеры (мг%) внутренних органов мелких млекопитающих Карелии (для вполне зрелых особей в летний период)

Вид	n	Сердце	Печень	Почки	Селезенка	Надпочечники	Тимус
Обыкновенный крот	11	10,5 ± 0,2	59,7 ± 2,9	12,8 ± 0,2	10,3 ± 0,5	0,26 ± 0,03	1,4 ± 0,3
Равнозубая бурозубка	18	10,9 ± 0,3	67,8 ± 1,8	15,0 ± 0,6	20,1 ± 4,4	0,33 ± 0,04	3,6 ± 0,8
Обыкновенная бурозубка	102	10,0 ± 0,2	76,9 ± 1,5	17,2 ± 0,3	11,0 ± 0,3	0,49 ± 0,02	4,7 ± 0,2
Средняя бурозубка	54	12,4 ± 0,4	72,2 ± 1,6	17,4 ± 0,5	12,0 ± 0,8	0,77 ± 0,05	4,5 ± 0,2
Малая бурозубка	71	13,8 ± 0,2	65,1 ± 1,1	19,0 ± 0,2	8,6 ± 0,6	0,85 ± 0,04	4,5 ± 0,2
Крошечная бурозубка	12	14,5 ± 0,3	73,8 ± 2,3	20,3 ± 0,3	5,1 ± 0,5	1,08 ± 0,08	4,0 ± 0,9
Обыкновенная кутора	9	10,7 ± 0,2	91,0 ± 3,1	17,5 ± 0,3	6,5 ± 0,9	0,37 ± 0,05	6,0 ± 1,1
Лесная мышовка	72	11,2 ± 0,2	70,5 ± 1,2	21,1 ± 0,2	2,1 ± 0,2	0,70 ± 0,02	1,0 ± 0,1
Мышь-малютка	5	10,4 ± 0,9	54,1 ± 6,5	17,4 ± 1,3	1,4 ± 0,2	0,90 ± 0,02	1,1 ± 0,2
Полевая мышь	6	7,1 ± 0,7	61,1 ± 3,9	16,1 ± 0,4	2,6 ± 0,2	0,42 ± 0,04	1,5 ± 0,2
Лесной лемминг	20	7,5 ± 0,2	74,8 ± 2,5	14,6 ± 0,6	3,7 ± 0,5	0,72 ± 0,04	2,3 ± 0,2
Рыжая полевка	311	6,6 ± 0,1	65,7 ± 0,6	16,2 ± 0,2	5,6 ± 0,2	0,56 ± 0,01	2,1 ± 0,1
Красная полевка	51	7,0 ± 0,2	65,2 ± 1,5	16,7 ± 0,4	4,1 ± 0,4	0,65 ± 0,06	1,9 ± 0,1
Обыкновенная полевка	10	5,8 ± 0,4	53,3 ± 4,0	15,2 ± 0,7	6,3 ± 1,1	0,37 ± 0,03	3,2 ± 0,6
Темная полевка	98	5,0 ± 0,1	62,1 ± 1,0	15,8 ± 0,3	6,2 ± 0,4	0,31 ± 0,02	1,8 ± 0,2
Полевка-экономка	18	5,6 ± 0,5	58,1 ± 4,0	12,8 ± 1,0	8,4 ± 1,2	0,44 ± 0,02	1,1 ± 0,2
Водяная полевка	5	4,9 ± 0,6	47,0 ± 2,7	10,3 ± 0,7	6,0 ± 4,8	0,33 ± 0,01	1,5 ± 0,1

Использование размеров печени в качестве одного из главных морфофизиологических индикаторов основывается на ее специфической роли как энергетического (углеводного и жирового) и пластического (белкового) депо организма [18], [19], [22], [39]. Изменение печени преимущественно за счет накопления или расходования углеводов и отчасти жиров и белков [9], [18], [28], [29] позволяет судить о напряженности обменного баланса. Изменение величины печени отражает способность животных к накоплению резервных питательных веществ в конкретных условиях среды и в зависимости от физиологического состояния. При наступлении кратковременных неблагоприятных условий расходуется прежде всего резервный гликоген, а при длительном воздействии или частых повторениях – жировые запасы [14], [19]. По С. С. Шварцу, ведущим фактором, определяющим размеры печени позвоночных, является интенсивность их обмена веществ и вытекающие отсюда различия в способности поддерживать нормальную жизнедеятельность в периоды недостатка корма. Все это делает индекс печени хорошим показателем степени соответствия окружающих условий потребностям исследуемых животных [22].

Особенно большое значение депонирование питательных веществ должно иметь для животных с высоким уровнем метаболизма или испытывающих в силу неблагоприятных условий частые перебои в питании. Именно поэтому крупные размеры печени, связанные с большим количеством депонируемого гликогена, характер-

ны для землероек, высокая интенсивность обмена которых ставит их перед необходимостью накапливать значительные энергетические резервы (см. табл. 4, рис. 3). Вместе с тем при сравнении видов одного отряда «правило величины» может нарушаться. Это особенно четко выявляется при анализе данных по насекомоядным, где вместо строгой корреляции между относительными размерами печени и величиной тела на первый план выступают экологические зависимости. Так, водяная кутора в 4 раза крупнее малой бурозубки, однако индекс у нее не меньше, а почти в 1,5 раза больше. Выпадает из анализируемой закономерности и обыкновенная бурозубка, относительные размеры печени которой выше, чем у других, в том числе и более мелких представителей рода *Sorex*.

Среди грызунов правило величины проявляется более отчетливо, но и здесь имеется ряд характерных исключений, связанных с особенностями питания или другими экологическими факторами. В группе серых полевок обращает внимание непропорционально маленькая печень у обыкновенной полевки, а среди остальных грызунов наиболее низкий индекс имеет самый мелкий представитель отряда – мышь-малютка. Казалось бы, подтверждается отмеченная Н. В. Башениной [1] тенденция увеличения индекса печени от форм, потребляющих преимущественно углеводный корм, к формам, имеющим смешанный тип питания, и особенно с увеличением доли животных кормов. Однако безоговорочно принять ее мешает очень

высокая относительная величина печени у лесного лемминга. По этому показателю названный вид, питающийся в основном грубыми кормами (зеленые мхи и др.), приближается к формам, потребляющим преимущественно животный корм (например, землеройки), и заметно превосходит зеленоядных полевок. Легче связать с типом питания крупные размеры печени лесной мышовки. Для нее как животного с высоким уровнем метаболизма, в значительной мере насекомоядного и, кроме того, испытывающего из-за резких изменений погодных условий частые перебои в питании, повышенное содержание гликогена в печени, а следовательно, и увеличение ее размеров, служит важной адаптацией к успешному существованию у северных границ ареала.

Многочисленными исследованиями установлено, что почки более, чем какие-либо другие внутренние органы, чувствительны к изменению обмена веществ, и все условия, вызывающие интенсификацию метаболизма (в том числе уменьшение общих размеров тела, усиление активности и т. д.), сопровождаются увеличением индекса почек, поэтому данный показатель можно рассматривать в качестве масштаба обмена веществ и использовать как своеобразный индикатор уровня популяционной напряженности метаболических процессов [4], [12], [13], [19], [20], [21], [22], [39]. Справедливость такого подхода косвенно подтверждается тем, что относительные размеры почек изученных нами видов млекопитающих находятся в обратной зависимости от величины тела, что соответствует различиям в уровне обмена веществ. Особенно ясно проявляется данная закономерность в группе насекомоядных, где имеется лишь одно исключение (равнозубая бурозубка), да и то представляющее, скорее всего, артефакт, обусловленный небольшим объемом анализируемого материала. Среди грызунов наблюдается гораздо больший разбой, но и здесь, во всяком случае по крайним вариантам, правило величины находит достаточно четкое подтверждение: максимальный индекс имеют наиболее мелкие и подвижные зверьки – мышовка и мышь-малютка, а минимальный – самые крупные, с относительно невысоким уровнем обмена веществ: водяная полевка и экономка.

Значение селезенки как специфического индикатора физиологического состояния организма определяется участием в кровообразовании (эритропоэзе), ряде биохимических процессов (связанных с обменом жирных кислот и частично аминокислот), а также тем, что она выполняет защитную роль и является депо крови – регулирует кровообращение в соответствии с изменениями условий среды. Вместе с тем использование величины селезенки в качестве одного из морфофизиологических показателей весьма затруднительно из-за чрезвычайно высокой индивидуальной изменчивости и слишком большой чувствитель-

ности органа к самым разнообразным воздействиям, часто не поддающимся никакому учету. По данным многих авторов [18], [23], [29], [33], [39], коэффициенты вариации размеров селезенки значительно превосходят таковые любых других внутренних органов. Это подтвердили и наши исследования.

Однако из факта огромной индивидуальной изменчивости размеров селезенки вовсе не следует малая биологическая значимость ее, и известное положение, согласно которому органы, потерявшие или теряющие свое значение, варьируют особенно сильно [37], в данном случае не оправдывается. Высокая степень вариабельности массы селезенки вытекает из самой специфической функции этого органа как депо эритроцитов, принимающего участие в адаптивных процессах и регулировании через кровотоки и дыхательную систему уровня газообмена животного. Прямая зависимость индекса селезенки от интенсивности обмена веществ подтверждается характером различий между землеройками и грызунами (см. табл. 4, рис. 3). Относительные размеры селезенки у всех насекомоядных значительно превышают таковые у грызунов и, следовательно, демонстрируют обратную зависимость от величины (веса) тела. В то же время внутри этих групп правило величины не подтверждается.

На многих видах млекопитающих и птиц установлено, что между размерами надпочечников и интенсивностью их гормональной деятельности имеется прямая связь [7], [9], [12], [14], [19], [20], [21], [22], [24], [33], [34], [38], [41] и др. Любые условия, требующие резкой интенсификации обмена в ответ на самые различные раздражители (стресс-факторы), вызывают гиперфункцию надпочечников – повышенное выделение кортикостероидов (это в конце концов может привести к адаптивному синдрому – гормональному истощению и гибели животного), что связано с соответствующими гистологическими изменениями (увеличением и структурной перестройкой коры надпочечников) и гипертрофией всего органа. Поэтому величину надпочечников как один из показателей активности железы можно использовать в качестве индикатора степени напряженности организма, вызванного как социальными факторами и плотностью популяции, так и иными условиями среды. Что же касается видовых особенностей (см. табл. 4, рис. 3), то они в общем отвечают «правилу порядков»: наибольший индекс надпочечников имеют мелкие виды с относительно высоким уровнем обмена веществ, наименьший – более крупные с менее интенсивным метаболизмом. При этом данная закономерность прослеживается и при сравнении наиболее крупных таксонов (например, отрядов насекомоядных и грызунов), и внутри одного семейства или рода. То, что размеры надпочечников теснее любых других интерьерных признаков

связаны с общей величиной животного, характеризует данный показатель как один из наиболее точных при оценке видоспецифичного уровня основного обмена организма, обусловленного величиной теплоотдачи с поверхности тела. В то же время на внутривидовом уровне, особенно в процессе сезонно-возрастных и годовых изменений, рассматриваемый показатель проявляет значительную лабильность, нарушающую эти простые физиологические зависимости. Испытывая корректирующие внешние воздействия и отражая соответствующие ответные реакции популяций и внутривидовых групп, изменения величины надпочечников характеризуют ритмику физиологического состояния животных и общую динамику популяционных процессов, тем самым создается предпосылка для их объективного экологического анализа.

Существование прямой зависимости между размерами тимуса и жизнеспособностью молодых животных позволяет связывать роль этой железы со стимуляцией энергетических процессов в растущем организме [14], [20], [21], а его величину рассматривать в качестве показателя интенсивности роста молодняка [22]. Сравнение имеющихся данных об относительном весе тимуса у разных видов мелких млекопитающих показывает, что видовые отличия по этому признаку не очень велики. Однако можно все же констатировать большую величину индекса у насекомоядных по сравнению с грызунами, а у последних

наличие обратной связи между размерами тимуса и весом тела (см. рис. 3). Тем не менее и здесь правило величины проявляется не в объеме всего отряда, а лишь отдельно для серых и рыжих полевок и мышей, то есть на уровне рода.

Важной биологической особенностью мелких млекопитающих, связанной с характером питания, является строение пищеварительного тракта, в частности, адаптивные различия в размерах всего кишечника и его слепого отдела (табл. 5). Четкая корреляция между длиной кишечника и типом питания животных установлена многими авторами [8], [13], [18], [22], [36], [39] и др. Подтверждается она и нашими данными (см. табл. 3). При этом в группе насекомоядных наблюдается прямая зависимость общей длины кишечника от размеров (длины) тела животных. Первое место по относительной длине пищеварительного тракта занимает крот (782 %), далее следует кутора (427 %), а затем – остальные землеройки от самых крупных (равнозубая и обыкновенная) до самых мелких (малая и крошечная). Индекс кишечника составляет у них соответственно 423, 421, 302, 283 и 267 %. Как было установлено нами ранее, видовые различия в питании землероек сводятся в основном к потреблению более крупными видами относительно более крупной, а следовательно, и труднее усваиваемой добычи. Этим, возможно, и объясняется удлинение кишечника с увеличением общих размеров тела.

Таблица 5

Относительная длина кишечника мелких млекопитающих Карелии  
(в среднем для обоих полов)

Вид	n	Относительная длина	
		кишечника, % к длине тела	слепой кишки, % к общей длине кишечника
Обыкновенный крот	17	782 ± 14	–
Равнозубая бурозубка	18	423 ± 12	–
Обыкновенная бурозубка	742	421 ± 2	–
Средняя бурозубка	119	302 ± 4	–
Малая бурозубка	127	283 ± 3	–
Крошечная бурозубка	4	267 ± 21	–
Обыкновенная кутора	9	427 ± 19	–
Лесная мышовка	66	487 ± 7	12,9 ± 0,3
Мышь-малютка	5	495 ± 32	8,0 ± 0,5
Полевая мышь	6	562 ± 23	9,1 ± 0,4
Лесной лемминг	13	1 208 ± 29	7,5 ± 0,2
Рыжая полевка	438	894 ± 5	13,5 ± 0,1
Красная полевка	71	923 ± 12	12,8 ± 0,2
Водяная полевка	4	718 ± 52	16,9 ± 1,0
Обыкновенная полевка	7	708 ± 41	17,6 ± 0,9
Темная полевка	73	794 ± 12	17,6 ± 0,2
Полевка-экономка	31	678 ± 17	19,5 ± 0,3

Среди изученных нами грызунов наибольшую относительную длину кишечника имеет лесной лемминг – единственный специализированный потребитель зеленых мхов. На втором и третьем местах – красная и рыжая полевки, то есть грызуны со смешанным типом питания. Затем идут зеленоядные полевки (темная, водяная, обыкновенная и экономка), завершают этот ряд полевая мышь, мышь-малютка и лесная мышовка – представители грызунов-семеноядов. Таким образом, относительная длина всего кишечника демонстрирует достаточно четкую зависимость от кормовой специализации: уменьшается при переходе от питания смешанным кормом к питанию зеленью и особенно семенами. Еще теснее коррелирует с характером питания длина слепой кишки. Максимальной относительной величины она достигает у зеленоядных полевок (17,6–19,5 %), средней – у грызунов со смешанным питанием (12,8–13,5 %), наименьшей – у семеноядов (8–9,1 %). Следовательно, слабое развитие слепой кишки указывает на питание высококалорийными концентрированными кормами, а увеличение ее размеров – на приспособление к перевариванию объемистого грубого корма, богатого клетчаткой.

Итак, сопоставление на видовом уровне размеров тела и индексов внутренних органов показывает, что все изученные интерьерные признаки имеют видовую специфичность и в той или иной мере подчиняются «правилу величины» Гессе, то есть закономерно увеличиваются с уменьшением общих размеров животных. Тем самым подтверждается известное положение о зависимости уровня основного обмена от теплоотдающей поверхности, находящейся в обратных соотношениях с массой тела. В то же время следует еще раз подчеркнуть, что прямая

связь между интенсивностью метаболизма и величиной индексов, как правило, непропорциональна и не абсолютна. Более того, различные внутренние органы демонстрируют разную степень, а нередко и разный характер такой связи. Например, если индекс сердца отражает в основном степень энергетических затрат на движение и поэтому в большей степени связан с моторной активностью и сложностью движений, то индекс почек лучше других интерьерных признаков улавливает популяционную напряженность обменных процессов, а надпочечников – способность организма адаптироваться к резким изменениям условий посредством быстрой интенсификации метаболизма. Наконец, относительные размеры печени характеризуют ведущую роль этого органа в накоплении запасных питательных веществ и, следовательно, лишь косвенно связаны с общей интенсивностью обменных процессов.

Кроме того, как уже указывалось, связь интерьерных показателей с уровнем основного обмена и теплопродукцией в значительной степени затушевывается воздействием внешних и внутривидовых факторов. Тем не менее это ни в коей мере не обесценивает метод морфофизиологических индикаторов, а напротив, расширяет сферу его применения, включая в нее экологический анализ подобных отклонений для выявления специфических реакций видов на разнообразие воздействий. Другое дело, если бы «правило величины», действительно, не имело исключений и проявлялось строго пропорционально. Вот тогда этот прием и в самом деле оказался бы бесполезным: различия в интенсивности метаболизма можно было бы устанавливать просто по размерам тела, без учета интерьерных показателей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башенина Н. В. Интерьерные показатели мелких грызунов и их связь с уровнем энергетического обмена // Ученые записки Пермского педагогического института. 1969. Т. 79. С. 75–116.
2. Башенина Н. В. Адаптивные особенности теплообмена мышевидных грызунов. М., 1977. 294 с.
3. Викторов Л. В. Сезонно-возрастные изменения веса и размеров тела в жизненном цикле обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus*) из Калининской области // Ученые записки Рязанского государственного педагогического института. 1971. Т. 105. С. 53–77.
4. Добринский Л. Н. Динамика морфофизиологических особенностей птиц. М., 1981. 124 с.
5. Ивантер Э. В., Ивантер Т. В., Колода Н. И. Явление Денеля у землероек Карелии // Научная конференция биологов Карелии. Петрозаводск, 1972. С. 182–183.
6. Ивантер Э. В. Морфофизиологические особенности обыкновенной бурозубки (*Sorex araneus* L.) в свете ее сезонной и возрастной экологии // Вопросы экологии животных. Петрозаводск, 1974. С. 36–94.
7. Краснощев Г. П. Гипотеза эндокринной регуляции численности популяции // Материалы по экологии мелких млекопитающих Субарктики. Новосибирск, 1975. С. 34–52.
8. Кулаева Т. М. Материалы по экологической морфологии рыжих полевок // Известия Казанского филиала АН СССР. Сер. биол. 1958. № 6. С. 7–25.
9. Ливчак Г. Б. Некоторые эколого-физиологические и биохимические особенности полярных полевок: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1960. 15 с.
10. Машковцев А. А. Влияние горного климата на конституцию млекопитающих // Труды Лаборатории эволюционной морфологии. М., 1935. Т. 2. Вып. 3. С. 5–30.
11. Межжерин В. А. Явление Денеля и его возможное объяснение // Acta theriologica. 1964. № 8 (6). С. 96–113.
12. Межжерин В. А., Мельникова Г. Л. Адаптивное значение сезонных изменений некоторых морфофизиологических показателей землероек-бурозубок // Acta theriologica. 1966. № 11 (25). С. 503–521.
13. Наумова Е. И. Функциональная морфология пищеварительной системы грызунов и зайцеобразных. М., 1981. 262 с.
14. Оленев В. Г. Сезонные изменения некоторых морфофизиологических признаков грызунов в связи с динамикой возрастной структуры популяций: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Свердловск, 1964. 26 с.

15. Покровский А. В. Сезонные колебания веса тела у полевок // Труды Института биологии УФАН СССР. Свердловск, 1966. Т. 51. С. 95–106.
16. Пучковский С. В. Биотопические особенности веса тела и некоторых внутренних органов бурозубок (*Sorex*, *Soricidae*, *Insectivora*) // Научные доклады высшей школы. Сер. биол. наук. 1969. № 9. С. 43–48.
17. Слоним А. Д. Основы общей экологической физиологии млекопитающих. М., 1961. 432 с.
18. Халилов Ф. К сравнительной морфологии кишечника млекопитающих в связи с характером питания // Зоологический журнал. 1955. Т. 34. Вып. 2. С. 415–426.
19. Шварц С. С., Смирнов В. С., Добринский Л. Н. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных. Свердловск, 1968. 387 с.
20. Шварц С. С. Опыт экологического анализа некоторых морфофизиологических признаков наземных позвоночных: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1953. 35 с.
21. Шварц С. С. Метод морфофизиологических индикаторов в экологии наземных позвоночных животных // Зоологический журнал. 1958. Т. 37. Вып. 2. С. 161–173.
22. Шварц С. С. Некоторые закономерности экологической обусловленности интерьерных особенностей наземных позвоночных животных // Проблемы флоры и фауны Урала. Свердловск, 1960. С. 113–177.
23. Яблоков А. В. Изменчивость млекопитающих. М., 1966. 363 с.
24. Chitty D. Variation in the weight of the adrenal glands of the field vole *Microtus agrestis* // J. Endocrinol. 1961. Vol. 22. No 4. P. 387–393.
25. Christian J. J. Endocrine adaptive mechanisms and the physiologic regulation of population growth // *Physiol. Mammal.* 1963. Vol. 1. P. 189–353.
26. Dehnel A. *Badania nad rodzajem Sorex L.* // *Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska. Lublin*, 1949. Sectio C. Vol. IV. No 2. P. 17–102.
27. Fedyk A. Seasonal changes in the water content and level in the bank vole against the background of other gross body components // *Acta theriol.* 1977. Vol. 22, 26. P. 355–363.
28. Gorecki A. Energy values of body in small mammals // *Acta theriol.* 1965. Vol. 10. No 23. P. 333–352.
29. Heroux O., Gridgeman N. T. The effect of cold acclimation on the size of organs and tissues of the rat, with special reference to modes of expression of results // *Canad. J. Biochem. Physiol.* 1958. Vol. 36. P. 209–216.
30. Hesse R. *Tiergeographie auf ecologischer Gerundlage.* Jena, 1924. 613 s.
31. Kaikusalo A. Population turnover and wintering of the bank vole, *Clethrionomys glareolus* (Schreb.), in southern and central Finland // *Ann. zool. fenn.* 1972. Vol. 9. No 4. P. 219–224.
32. Kubik J. Analysis of the Pulawy population of *Sorex araneus araneus* L. and *Sorex minutus minutus* L. // *Ann. Univ. M. Curie-Sklod. Sect. C.* 1951. Vol. 5. No 2. P. 11–23.
33. Lidicker W. Z., Davis W. H. Changes in splenic weight associated with hibernation in bats. // *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1955. Vol. 89. P. 640–642.
34. McKeever S. Variation in the weight of the adrenal, pituitary and thyroid gland of the white-footed mouse, *Peromyscus maniculatus* // *Amer. J. Anal.* 1964. Vol. 114. P. 1–12.
35. Michielsen N. C. Intraspecific and interspecific competition in the shrews *Sorex araneus* L. and *S. minutus* L. // *Arch. Neer-land. Zool.* 1966. Vol. 17. No 1. P. 73–174.
36. Morrison P. R., Ryser F. A., Dawe A. R. Studies on the physiology of the masked shrew *Sorex cinereus* // *Physiol. Zool.* 1959. Vol. 32. No 4. P. 256–271.
37. Myrcha A. Variations in the length and weight of the alimentary tract of *Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780) // *Acta theriol.* 1964. Vol. 9. No 10. P. 1–10.
38. Niethammer J. Das Qewicht der Waldspitzmaus, *Sorex araneus* Linne, 1758, im Jahreslauf // *Saugetierkd. Mitt.* 1956. Vol. 4. No. 4. P. 160–165.
39. Pucek Z. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews // *Acta theriol.* 1965. Vol. 10. No 26. P. 369–438.
40. Selye H. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation // *J. Clin. Endocrinol.* 1946. Vol. 6. P. 117–230.
41. Siuda S. Morphology of the adrenal cortex of *Sorex araneus* L., 1758, during the life cycle. // *Acta theriol.* 1964. Vol. 8. No 7. P. 115–124.
42. Zejda J. Differential growth of three cohorts of the bank vole, *Clethrionomys glareolus* Schreb., 1780 // *Zook listy.* 1971. Vol. 20. No 3. P. 229–245.

Ivanter E. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

## THE EXPERIENCE OF ECOLOGICAL ANALYSIS OF MORPHOPHYSIOLOGICAL FEATURES IN SMALL MAMMALS

### Part 1. The general characteristics of internal features

Based on the multi-year research materials, the morphophysiological (internal) features of small mammals are studied. Small mammals are understood as a holistic and specific ecological group of animals, which due to its small size is characterized by the high level of metabolism and by the low level of individual resistance to adverse factors. The latter is compensated by the development of high group (population) resistance and effective adaptive reactions. The study of the specific character of the species' energy metabolism, of the chemical thermoregulation and related patterns of morphophysiological reactions is based on the application of the method of morphophysiological indicators by S. S. Schwartz (1953 et al). As a result, we identified specific ways of small mammals' adaptation to the life in conditions of constant thermal deficiency and poor nutrition conditioned by the northern periphery of the range.

Key words: population, morphophysiological features, adaptive reactions, growth and development, internal organs

#### REFERENCES

1. Bashenina N. V. Interior indicators of small rodents and their relationship with the level of energy metabolism. *Uchenye zapiski Permskogo pedagogicheskogo instituta.* 1969. Vol. 79. P. 75–116. (In Russ.)
2. Bashenina N. V. Adaptive features of heat exchange in mouse rodents. Moscow, 1977. 294 p. (In Russ.)

3. Viktorov L. V. Seasonal and age changes in weight and body size in the life cycle of the common shrew (*Sorex araneus*) from Kalinin region. *Uchenye zapiski Ryazanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta*. 1971. Vol. 105. P. 53–77. (In Russ.)
4. Dobrinsky L. N. Dynamics of morphophysiological features of birds. Moscow, 1981. 124 p. (In Russ.)
5. Ivanter E. V., Ivanter T. V., Koloda N. I. The phenomenon of Denel in the shrews of Karelia. *Scientific. Nauchnaya konferentsiya biologov Karelii*. Petrozavodsk, 1972. P. 182–183. (In Russ.)
6. Ivanter E. V. Morphophysiological features of the common shrew (*Sorex araneus* L.) in the light of its seasonal and age-related ecology. *Voprosy ekologii zhivotnykh*. Petrozavodsk, 1974. P. 36–94. (In Russ.)
7. Krasnoshchekov G. P. Hypothesis of endocrine regulation of population size. *Materialy po ekologii melkikh mlekopitayushchikh Subarkiki*. Novosibirsk, 1975. P. 34–52. (In Russ.)
8. Kulayeva T. M. Materials on the ecological morphology of the bank vole. *Izvestiya Kazanskogo filiala AN SSSR. Ser. Biol.* 1958. No 6. P. 7–25. (In Russ.)
9. Livchak G. B. Some ecological-physiological and biochemical features of polar voles. Thesis abstract of Cand. Sci. (Biol). Leningrad, 1960. 15 p. (In Russ.)
10. Mashkovtsev A. A. The Influence of Mountain Climate on the Constitution of Mammals. *Trudy Laboratorii evolyutsionnoy morfologii*. Moscow, 1935. Vol. 2. Issue. 3. P. 5–30. (In Russ.)
11. Mezhzherin V. A. Denel's phenomenon and its possible explanation. *Acta theriologica*. 1964. Vol. 8 (6). P. 96–113. (In Russ.)
12. Mezhzherin V. A., Melnikova G. L. Adaptive value of seasonal changes in some morphophysiological characteristics of shrews-shrews. *Acta theriologica*. 1966. Vol. 11 (25). P. 503–521. (In Russ.)
13. Naumova E. I. Functional morphology of the digestive system of rodents and lagiformes. Moscow, 1981. 262 p. (In Russ.)
14. Olenev V. G. Seasonal changes of some morphophysiological features of rodents in connection with the dynamics of the age structure of populations. Thesis abstract of Cand. Sci. (Biol). Sverdlovsk, 1964. 26 p. (In Russ.)
15. Pokrovsky A. V. Seasonal fluctuations of the body weight in voles. *Trudy Instituta biologii UFAN SSSR*. Sverdlovsk, 1966. Vol. 51. P. 95–106. (In Russ.)
16. Puchkovsky S. V. Biotopic features of body weight and some internal organs of shrews (*Sorex*, *Soricidae*, *Insectivora*). *Nauchnye doklady vysshey shkoly. Ser. biol.* 1969. No 9. P. 43–48. (In Russ.)
17. Slonim A. D. Foundations of the general ecological physiology of mammals. Moscow, 1961. 432 p. (In Russ.)
18. Khalilov F. K. Comparative morphology of the intestine of mammals in connection with the nature of nutrition. *Zoologicheskii zhurnal*. 1955. Vol. 34. No 2. P. 415–426. (In Russ.)
19. Shvarts S. S., Smirnov V. S., Dobrinsky L. N. Method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates. Sverdlovsk, 1968. 387 p. (In Russ.)
20. Schwartz S. S. Experience in the ecological analysis of some morphophysiological features of terrestrial vertebrates. Thesis abstract of Dr. Sci. Biol. Moscow, 1953. 35 p. (In Russ.)
21. Schwartz S. S. Method of morphophysiological indicators in the ecology of terrestrial vertebrates. *Zoologicheskii zhurnal*. 1958. Vol. 37. No 2. P. 161–173. (In Russ.)
22. Schwartz S. S. Some regularities of ecological conditionality of interior features of terrestrial vertebrates. *Problemy flory i fauny Urala*. Sverdlovsk, 1960. P. 113–177. (In Russ.)
23. Yablokov A. V. Variability of mammals. Moscow, 1966. 363 p. (In Russ.)
24. Chitty D. Variation in the weight of the adrenal glands of the field vole *Microtus agrestis*. *J. Endocrinol.* 1961. Vol. 22. No 4. P. 387–393.
25. Christian J. J. Endocrine adaptive mechanisms and the physiologic regulation of population growth. *Physiol. Mammal.* 1963. Vol. 1. P. 189–353.
26. Dehnel A. Badania nad rodzajem *Sorex* L. // *Ann. Univ. M. Curie-Sklodowska. Lublin*, 1949. Sectio C. Vol. IV. No 2. P. 17–102.
27. Fedyk A. Seasonal changes in the water content and level in the bank vole against the background of other gross body components. *Acta theriol.* 1977. Vol. 22, 26. P. 355–363.
28. Gorecki A. Energy values of body in small mammals. *Acta theriol.* 1965. Vol. 10. No 23. P. 333–352.
29. Heroux O., Gridgeman N. T. The effect of cold acclimation on the size of organs and tissues of the rat, with special reference to modes of expression of results. *Canad. J. Biochem. Physiol.* 1958. Vol. 36. P. 209–216.
30. Hesse R. Tiergeographie auf ecologischer Gerundlage. Jena, 1924. 613 p.
31. Kaikusalo A. Population turnover and wintering of the bank vole, *Clethrionomys glareolus* (Schreb.), in southern and central Finland. *Ann. zool. fenn.* 1972. Vol. 9. No 4. P. 219–224.
32. Kubik J. Analysis of the Pulawy population of *Sorex araneus araneus* L. and *Sorex minutus minutus* L. *Ann. Univ. M. Curie-Sklod. Sect. C.* 1951. Vol. 5. No 2. P. 11–23.
33. Lidicker W. Z., Davis W. H. Changes in splenic weight associated with hibernation in bats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 1955. Vol. 89. P. 640–642.
34. McKeever S. Variation in the weight of the adrenal, pituitary and thyroid gland of the white-footed mouse, *Peromyscus maniculatus*. *Amer. J. Anal.* 1964. Vol. 114. P. 1–12.
35. Michielsen N. C. Intraspecific and interspecific competition in the shrews *Sorex araneus* L. and *S. minutus* L. *Arch. Neerland. Zool.* 1966. Vol. 17. No 1. P. 73–174.
36. Morrison P. R., Ryser F. A., Dawe A. R. Studies on the physiology of the masked shrew *Sorex cinereus*. *Physiol. Zool.* 1959. Vol. 32. No 4. P. 256–271.
37. Myrcha A. Variations in the length and weight of the alimentary tract of *Clethrionomys glareolus* (Schreber, 1780). *Acta theriol.* 1964. Vol. 9. No 10. P. 1–10.
38. Niethammer J. Das Qewicht der Waldspitzmaus, *Sorex araneus* Linne, 1758, im Jahreslauf. *Saugetierkd. Mitt.* 1956. Vol. 4. No. 4. P. 160–165.
39. Pucek Z. Seasonal and age changes in the weight of internal organs of shrews. *Acta theriol.* 1965. Vol. 10. No 26. P. 369–438.
40. Selye H. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *J. Clin. Endocrinol.* 1946. Vol. 6. P. 117–230.
41. Siuda S. Morphology of the adrenal cortex of *Sorex araneus* L., 1758, during the life cycle. *Acta theriol.* 1964. Vol. 8. No 7. P. 115–124.
42. Zejda J. Differential growth of three cohorts of the bank vole, *Clethrionomys glareolus* Schreb., 1780. *Zook listy*. 1971. Vol. 20. No 3. P. 229–245.

**МАРИЯ ВЛАДИМИРОВНА МЕДВЕДЕВА**

кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории лесного почвоведения, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*mariamed@mail.ru*

**АНАСТАСИЯ ВИТАЛЬЕВНА МАМАЙ**

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории лесного почвоведения, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*krutova\_n@mail.ru*

**ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА БАХМЕТ**

доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией лесного почвоведения, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*obahmet@mail.ru*

**ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА МОШКИНА**

кандидат биологических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории лесного почвоведения, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*lena\_moshkina@mail.ru*

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРАНСФОРМАЦИИ АЗОТ- И УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОЧВАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ\*

Работа выполнена на территории города Петрозаводска и заповедника «Кивач». Результаты получены с использованием комплекса современных методов и приемов почвоведения, микробиологии, химии, экологии. Представлены результаты многолетних исследований микробной трансформации важнейших элементов-биофилов в почвах, находящихся в условиях урбанизации. Проведенные исследования показали, что круговорот азот- и углеродсодержащих соединений в почвах урбоэкосистем имеет как специфические, так и общие свойства, характерные для почв ненарушенных лесных сообществ. Установлено, что состав и структура микробного сообщества не выходят за рамки природной вариабельности, характерной для почв данной природно-климатической зоны. Высокая индикаторная информативность аминокислотного пула, базального дыхания почв позволяет использовать их в качестве индикатора состояния природной среды. Диапазон изменения микробного метаболического коэффициента можно рекомендовать использовать в качестве индикатора ранних нарушений в почве, изменения качества природной среды. Полученные данные могут быть основой при проведении урбоэкологического мониторинга почв Восточной Фенноскандии.

Ключевые слова: Карелия, среднетаежная подзона, городские почвы, экофизиологические показатели микробиоценоза, аминокислотный пул, базальное дыхание почв, микробный метаболический коэффициент

**ВВЕДЕНИЕ**

Как известно, лесные экосистемы играют важную роль в поддержании и сохранении биологического разнообразия, снижают негативные проявления антропогенного воздействия на природу, стабилизируют происходящие биосферные процессы. Лесам принадлежит основная роль в регуляции круговорота биофильных элементов

(углерода и азота) в наземных экосистемах [14]. Усиление урбанизации является мощным драйвером изменения структуры и функционирования лесных экосистем, нарушения выполнения ими их экосистемных услуг. Почва – это не только главный компонент лесных сообществ, но и главная составляющая часть геотехсистемы. Изменение свойств почв на фоне урбанистического пресса

приводит к нарушению их экологической и рекреационной функций, а следовательно, обеспечению устойчивого развития городов [7]. Органическое вещество почвы имеет сложный химический состав, поэтому его отдельные соединения отличаются по устойчивости к микробиологическому разложению, по участию в биохимических процессах, значимости в трофических цепях. Микробная биомасса является более чувствительной к различным воздействиям и нарушениям, чем органическое вещество почвы в целом, поэтому, проводя детальную оценку микробного сообщества, можно исследовать свойства и статус микробиоценоза, а также дать прогноз его дальнейшего формирования после снятия антропогенного пресса [11], [13]. Как известно, в почве запасы органического углерода велики, однако большая его часть является недоступной для микроорганизмов, так как находится в химически или физически защищенном состоянии [9]. На фоне антропогенного воздействия происходит изменение всех звеньев трофической цепочки, круговорота биогенных элементов. В этой связи проблема исследования сопряженных процессов микробиологической трансформации соединений азота и углерода почв естественных и антропогенно трансформированных экосистем является весьма актуальной.

Сотрудниками лаборатории лесного почвоведения Института леса КарНЦ РАН на основании многолетних исследований были выявлены особенности азотного режима лесных почв Карелии. В процессе работы было установлено, что круговорот элементов-биофилов определяется гидротермическими условиями, химическим составом почвообразующих пород, типом растительности, а также физико-химическими свойствами самих почв [3], [5], [6], [9]. На основании результатов многолетних исследований установлены закономерности накопления, динамики и трансформации азотных соединений в основных типах лесных почв. При этом было отмечено, что, несмотря на изменение содержания биогенных элементов в почвах на фоне

урбанистического пресса, соотношение основных фракций в азотном фонде лесных почв характеризуется высокой стабильностью в зональном, временном и экологическом аспектах. При этом относительная стабильность азотного фонда лесных почв, сформировавшихся в различных условиях фитоценотической среды, определяет устойчивость характера биологического круговорота азота в лесных биогеоценозах [9]. Вместе с тем микробиологические аспекты круговорота азот- и углеродсодержащих соединений в почвах, находящихся в условиях урбанизации, не исследованы. В этой связи цель работы – дать количественную оценку отдельных компонентов круговорота азота и углерода почв, которые являются чувствительным индикатором состояния органического вещества почв и функционирования микробного сообщества. В соответствии с поставленной целью основными задачами исследования были: 1) изучить содержание, состав и структуру аминокислотного пула почв; 2) установить эколого-физиологические показатели микробного сообщества почв исследуемых биогеоценозов; 3) выявить возможные индикаторы качества почв, находящихся в условиях урбанистического воздействия.

Полученные данные комплексных исследований микробиально-биохимических показателей необходимы для целей урбоэкологического мониторинга, а также прогнозирования возможных изменений окружающей среды в условиях меняющегося климата.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа выполнена в среднетаежной подзоне Карелии. Ключевые участки были заложены на территории Петрозаводского городского округа (61°45'-48'N; 34°14'-28'E), а также заповедника «Кивач» (62°12'-17'N; 34°00'-08'E). Данные пробные площадки хорошо отражали характерные для данной территории лесорастительные условия, специфику физико-химических свойств почв, почвообразующих пород. Таксационное описание древостоев приведено в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика объектов исследования

Возраст, лет	Состав	Густота, тыс. шт./га	Диаметр, см	Высота, м	Запас, м <sup>3</sup> /га	Бонитет	Характеристика подроста и подлеска
			средние				
Тип леса: Березняк злаково-разнотравный (Бк)							
60	10Б едС	0,81	20,5	24,0	247	I	Подрост: ель, возраст 10–30 лет, h 1–3 м, 200 шт./га; подлесок: рябина, ольха серая
Тип леса: Березняк черничный (Б1)							
80	9Б 10С	0,8 0,3	27,5 17,8	20,3 17,5	316 40	III	Подлесок: рябина, h = 6 м, d = 3 см, густота 4,0 тыс. шт./га
Тип леса: Березняк травяной (Б2)							
40	10Б	0,87	17,0	13,0	90	III	Подрост: ель, h = 1,0 м, густота 0,13 тыс. т/га; подлесок: рябина, h = 8 м, d = 10 см, густота 0,25 тыс. шт./га

На каждой пробной площади были заложены полнопрофильные почвенные разрезы, проведено морфологическое описание почв. Отбор образцов почв для анализа производили по генетическим горизонтам, в отобранных образцах определяли физико-химические свойства традиционными методами [1]. Названия почв с естественным сложением даны на основе региональной классификации [8]; для городских почв – классификации, предложенной учеными МГУ имени М. В. Ломоносова [7].

*Березняк злаково-разнотравный (Бк)* – контроль, заповедник «Кивач». Березовый древостой (10Б, ед. С), единично встречается сосна, осина,

ольха серая, возраст древостоя 60 лет, Ia.8 класс бонитета. Почва – подзолистая грунтово-глееватая супесчаная на суглинках, переходящих в ленточные глины.

*Березняк черничный (Б1)* – район Птицефабрика. Березовый древостой (9Б10С), возраст 80 лет, III класс бонитета. Почва – дерново-подзолистая грунтово-глееватая супесчаная на грубопесчаной морене с большим количеством щебня и гальки.

*Березняк травяной (Б2)* – район Ключевая. Березовое насаждение (10Б), возраст 40 лет, III класс бонитета. Почва – индустризем. Отдельные физико-химические свойства почв приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-химические свойства исследованных почв естественных и антропогенно трансформированных экосистем

Тип леса	Горизонт, мощность, см	Сорг	Нобщ	pH <sub>ксл</sub>	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Гранулометрический состав, частицы/ мм/ %		
						песок (1–0,05)	пыль (0,05–0,001)	ил (<0,001)
Бк	A0 (2)	45,67	2,17	4,20	0,10	–	–	–
	A1A2 (6)	1,69	0,15	3,79	0,76	71,90	23,10	5,00
	A2 (4)	0,53	0,03	3,87	0,97	76,40	20,80	2,80
	B1 (7)	1,27	0,11	4,38	1,41	72,90	24,30	2,80
	B2 (11)	0,46	0,03	4,29	1,60	41,60	54,20	4,20
	B3g (40)	0,27	–	4,03	1,69	23,60	72,70	3,70
Б1	A0(1)	36,22	0,73	5,41	0,08	–	–	–
	A1A2(9)	9,48	0,44	4,12	0,96	57,60	28,30	14,10
	Bf(16)	8,48	0,17	4,18	1,35	47,40	46,50	6,10
	B2g(20)	1,57	0,01	4,24	1,58	–	–	–
	BC(40)	1,79	0,04	4,07	1,76	61,30	34,40	4,30
Б2	U0 (1)	44,79	0,86	5,98	0,08	–	–	–
	U1d+U2h (15)	4,43	0,19	6,36	1,19	60,80	30,40	8,80
	U3a3 (25)	2,71	0,01	7,73	1,63	76,30	17,30	6,40
	U4a3 (40)	4,29	0,36	7,64	1,98	54,60	36,70	8,70

В отобранных образцах почв определяли общий азот методом Кьельдаля, азот белковых аминокислот – методом жидкостной хроматографии. Субстрат-индуцированное дыхание (СИД) оценивали по скорости начального максимального дыхания микроорганизмов после обогащения почвы глюкозой [10]. Углерод микробной биомассы рассчитывали по формуле:  $S_{мик} (\text{мкг С/г почвы}) = C (\text{мкл CO}_2/\text{г почвы/ч}) \times 40,04 + 0,37$  [13]. Базальное дыхание (БД) определяли по скорости выделения  $\text{CO}_2$  почвой за 24 часа ее инкубации при 22 °С и 60 % ПВ. Скорость БД выражали в мкг  $\text{C-CO}_2/\text{г почвы/ч}$ . Микробный метаболический коэффициент ( $q\text{CO}_2$ ) рассчитывали как отношение скоростей выделения  $\text{CO}_2$  из необогащенной почвы (БД) и почвы, в которую внесен избыток

глюкозы (СИД). Для расчета содержания азота в микробной биомассе использовали соотношение  $N_{мик}/C_{мик} = 0,15$  [11]. Содержание микробного углерода и азота рассчитывали как процент от общего содержания С и N соответственно. Определение видового состава микробного ценоза почв проводили молекулярным методом ГХ-МС [15].

Данные химического анализа были получены с использованием оборудования ЦКП «Аналитическая лаборатория» ИЛ КарНЦ РАН, лаборатории лесного почвоведения ИЛ КарНЦ РАН, лаборатории циклов углерода, азота ИФХ и БПП РАН, Отдела хроматографии НИИ физико-химической биологии имени А. Н. Белозерского МГУ. Полученные данные обработаны при помощи программы *Microsoft Office Excel*.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные физико-химические свойства исследованных почв показаны в табл. 2. Изучаемые почвы характеризовались легким гранулометрическим составом, средним содержанием обменных оснований и обедненностью биофильными элементами, что является характерным для почв среднетаежной подзоны Карелии [5]. Свойства почв, сформировавшиеся в условиях урбанизации, по сравнению с почвами заповедной территории, претерпевали заметные изменения. Выявили подщелачивание верхних горизонтов на 0,3–0,5 ед. рН, сокращение мощности лесных подстилок в 1,4–1,9 раза и увеличение плотности верхней части профиля почв в 1,1–1,5 раза. Нарушение физико-химических свойств на фоне урбанистического пресса стало триггером изменения биологического круговорота элементов-биофилов, отдельных звеньев трофоцепи. По общему содержанию и соотношению основных групп свободных аминокислот, а также по накоплению глутаминовой кислоты можно предположить о некотором изменении биологической активности верхних горизонтов почв в условиях урбанизации [6], [9]. Результаты показали, что азот свободных аминокислот во фракции гидролизуемого азота лесных почв резко уменьшается в почвах урбанизированных территорий (табл. 3). Большее количество свободных аминокислот отмечается в тех почвах, где складываются благоприятные условия для биохимического синтеза аминокислот [6], [9], в то время

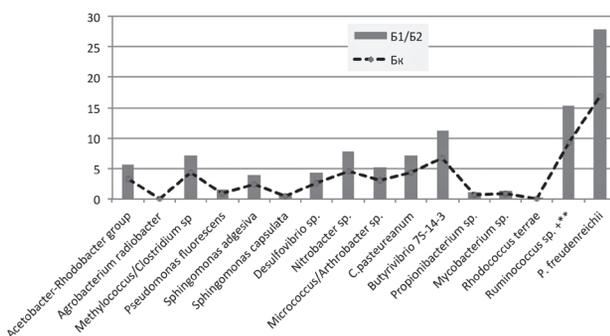
как уменьшение их содержания может косвенно свидетельствовать о нарушении начальных этапов трансформации азотсодержащих соединений в почве, изменении активности протеолитических ферментов. Несмотря на то что произошло уменьшение в содержании аминокислотного пула почв, в исследованных почвах встречаются практически все известные аминокислоты. При этом по уменьшению содержания отдельных аминокислот в профиле почв их можно расположить в ряду: глутаминовая и аспарагиновая, лейцин, валин, треонин, серин, фенилаланин, изолейцин, аланин, глицин, лизин, тирозин, аргинин, гистидин. Возможно, что аминокислоты, выделяемые корнями растений, а также образуемые в результате гидролиза белка растительных и животных остатков или продуцируемые почвенной микрофлорой, быстро вовлекаются в биохимические потоки, участвуют в формировании плодородия почв. Как известно, различные группы спороспособных и неспороспособных бактерий, микобактерий, актиномицетов способны синтезировать аминокислоты, поэтому в зависимости от состава микробного сообщества спектр аминокислот может быть различным. В почвах в сравнительно больших количествах, наряду с аспарагиновой кислотой, содержится дикарбоновая глутаминовая кислота, которая, являясь ключевым метаболитом, может быть стимулятором развития для многих микроорганизмов, служить косвенным индикатором биогенности почв.

Таблица 3

Содержание гидролизуемых аминокислот в почвах  
лиственных лесов, мг/кг

Состав аминокислот	Бк				Б1			Б2		
	горизонты									
	A0	A1A2	A2	Bhf	A0	A1A2	Bf	U0	U1d+U2h	U3a3
Аспарагиновая	10 581	287	120	476	1 124	275	550	1 067	172	169
Треонин	5 632	138	61	264	816	115	261	589	79	86
Серин	5 239	124	57	324	770	126	222	690	78	60
Глутаминовая	11 455	289	128	483	2 084	239	583	1 243	156	168
Глицин	4 221	111	50	214	2 280	297	473	1 522	119	123
Аланин	4 258	108	43	197	912	124	309	571	90	94
Валин	6 054	148	67	277	1 115	97	155	1 171	147	81
Изолейцин	4 738	107	45	156	1 126	104	173	668	38	0
Лейцин	7 802	174	75	242	2 282	160	229	1 502	75	0
Тирозин	808	31	3	14	676	16	38	421	7	0
Фенилаланин	4 411	107	58	192	1 983	97	159	1 309	54	0
Лизин	2 929	72	31	137	1 427	94	175	989	33	88
Гистидин	884	27	12	56	665	57	107	403	18	39
Аргинин	1 244	28	11	47	1 295	55	175	675	33	61
Общее количество	70 256	1 751	761	3 079	18 556	1 857	3 608	12 820	1 100	969

Характерной особенностью антропогенно измененных почв, в том числе урбаноземов, является деформация структуры микробных ценозов, изменение биологической активности как показателя одного из первых этапов нарушения экологических свойств почв. На начальных стадиях нарушения экосистемы микробное сообщество часто сохраняет способность сопротивляться отрицательному экологическому влиянию, что выражается в увеличении биохимической активности, дыхания и других микробально-биохимических показателей [2], [4]. Вместе с тем при дальнейшем усилении антропогенного пресса на микробное сообщество оно может перейти в новую адаптивную зону, которая выражается в падении уровня биологической активности почвы ниже контрольного [4], [7]. В микробном сообществе почв изучаемых древостоев присутствуют все исследуемые эколого-трофические группы, что свидетельствует о возможности выполнять микробному сообществу свои концентрационно-минерализационные функции в почве, участвовать в создании собственно органического вещества (рисунок). В составе микробоценоза доминируют микроорганизмы, чувствительные к данным эдафическим условиям, отличающиеся широкой экологической пластичностью. В почвах, испытывающих урбанистическое воздействие, формируется комплекс микроорганизмов, который представлен главным образом биотипами, осуществляющими начальные этапы превращения органического вещества. Их высокая численность и активность свидетельствуют об интенсивной деструкции мортмассы, минерализации трудногидролизуемых веществ. Содержание последних, как известно, в березово-разнотравном опаде невысокое.



Состав микробного сообщества почв исследуемых древостоев, % от общей численности микроорганизмов

Антропогенная нагрузка модифицирует интенсивность микробиологических процессов, происходящих в почве. Это можно рассматривать как реакцию микробного комплекса на воздействие неблагоприятных условий и использовать в качестве одного из показателей оценки антропогенного воздействия на почвы.

Центральным звеном азотного цикла в почве является азот микробной биомассы [9], [11],

[12]. По количеству азота в составе микробной биомассы можно оценить долю наиболее метаболически активного пула азота почв (табл. 4). Установлено, что азот микробной биомассы сосредоточен преимущественно в верхних органогенных горизонтах почв. В минеральных горизонтах содержание азота, ассоциированного с микробной биомассой, снижается в десятки-сотни раз, что связано, возможно, с общим распределением элемента по профилю, а также с содержанием его лабильных форм.

Таблица 4

Показатели функциональной и биохимической активности биоты почв лиственных лесов

Тип леса	Горизонт почв	N <sub>мик</sub> , мкг N/г	qCO <sub>2</sub>	N <sub>мик</sub> /N <sub>общ</sub> , %
Бк	A0	2557,2 ± 206,30	0,37	11,78
	A1A2	82,65 ± 17,46	0,14	5,51
	A2	15,45 ± 1,25	0,23	5,15
	B	11,70 ± 3,83	0,37	1,06
	A0	1964,70 ± 101,15	0,34	26,91
Б1	Ad	151,50 ± 2,18	0,49	2,59
	A1A2	37,80 ± 3,47	0,50	0,86
	B	11,85 ± 0,29	0,34	0,70
Б2	U10	1245,30 ± 167,57	0,54	14,48
	U2d	137,55 ± 7,71	0,14	7,24
	U3h	83,40 ± 11,67	0,15	83,40
	U4a3	9,60 ± 0,53	0,42	0,27

Для всех исследованных лесных и антропогенно нарушенных почв под лиственными насаждениями самая высокая величина См<sub>мик</sub> наблюдалась в органогенных горизонтах (8,30–13,1 г С/кг почвы), вниз по профилю почв величина См<sub>мик</sub> существенно уменьшалась (0,06–1,01 г С/кг почвы) (табл. 5). Столь резкая дифференциация профиля почв по содержанию См<sub>мик</sub> подтверждает существование биогеохимических барьеров на пути потока ассимилянтов и биогенных элементов, а также его изменение на фоне антропогенного воздействия: нарушение физико-химических свойств почв отмечено выше.

В лесных почвах под березовыми древостоями, взятых в качестве контроля, содержание углерода в микробной биомассе составляло до 17,05 г С/кг почвы, его распределение по профилю почв было неравномерным: максимальное содержание отмечено в верхнем горизонте, вниз по профилю почв оно резко уменьшалось. В целом полученные данные сопоставимы с результатами других исследователей, что может свидетельствовать об общем плане строения лесного биогеоценоза, направленности изменения круговорота биофильных элементов в антропогенно трансформированных экосистемах [5], [7], [20].

Таблица 5

Показатели биологической активности почв изучаемых естественных и городских лесов

Тип леса	Горизонт	Смик, мкг С/г	БД, мкг С/г/час	Смик/Сорг, %
Бк	А0	17048 ± 1375,3	84,67 ± 5,04	3,73
	А1А2	551 ± 116,4	1,02 ± 0,47	0,12
	А2	103 ± 8,3	0,31 ± 0,02	2,93
	В	78 ± 25,5	0,37 ± 0,03	0,94
Б1	А0	13098 ± 674,3	59,41 ± 10,39	3,62
	Ad	1010 ± 14,5	6,61 ± 0,94	4,12
	А1А2	252 ± 23,1	1,67 ± 0,12	0,84
	В	79 ± 1,9	0,34 ± 0,00	0,09
Б2	U10	8302 ± 1117,1	59,93 ± 4,16	1,85
	U2d	917 ± 51,4	1,66 ± 0,24	2,07
	U3h	556 ± 77,8	1,13 ± 0,14	2,05
	U4a3	64 ± 3,5	0,33 ± 0,00	0,15

Необходимо отметить, что функции микробного сообщества в лиственных экосистемах связаны не только с трансформацией растительного субстрата, но и гумусовых соединений. Этим объясняется высокая заселенность микроорганизмами лесных подстилок [5], [9]. Однако общий уровень биомассы не указывает на ее активность, поскольку отражает лишь количество присутствующих в почве микроорганизмов, поэтому его изменение может свидетельствовать как о влиянии на общие микробиологические процессы, так и на специфические группы микроорганизмов. В этой связи проводили анализ дыхательной активности почв изучаемых лиственных древостоев. Результаты показали, что дыхательная активность изученных почв изменялась в органогенных горизонтах под лиственными насаждениями в пределах от 1,43–2,32 г С/кг почвы/сут. Самая высокая активность базального дыхания отмечалась в верхнем, наиболее антропогенно нарушенном, горизонте (U0) по сравнению со всеми исследованными участками. Вниз по профилю антропогенно трансформированных почв дыхательная активность снижалась в 176–235 раз по сравнению с контролем. В профиле исследованных почв величина БД изменялась в пределах 0,33–6,61 и 0,31–1,02 г С/кг почвы/сут городских и контрольных территорий соответственно. Снижение дыхательной активности микроорганизмов в минеральных горизонтах почв связано, вероятно, с изменением количества и качества поступающего органического вещества в нижележащие горизонты [3].

Тесная взаимосвязь между типом леса и биологическим потенциалом почвы показана рядом исследователей, проводивших многолетние изучения структуры и функциональной активности в основных типах леса средней тайги

Карелии [3], [9]. Микробные сообщества почв березовых лесов развиваются в условиях постоянного притока доступных пищевых ресурсов из лиственного опада. При этом чем доступнее микроорганизмам субстрат, тем активнее идет его минерализация, тем больше прирост биомассы микробов, выше их дыхание. В лиственных лесах, по сравнению с хвойными, наблюдается расширение микробного разнообразия, фиксируемое показателями обилия микробного блока, его экологической и функциональной активностью [3], [4], [6].

Универсальным индикатором нарушения экологического равновесия системы является микробный метаболический коэффициент. Он достаточно хорошо отражает способность микробного сообщества преодолевать внешние воздействия, экологическую пластичность микробоценоза [2]. Согласно классификации, предложенной Е. В. Благодатской и Н. Д. Ананьевой, изменение микробного метаболического коэффициента в диапазоне 0,2–0,3 соответствует слабой, 0,3–0,5 – средней, 0,5–1,0 – сильной степени нарушенности микробного сообщества и отражает его неустойчивость [2]. Наиболее высокий показатель свидетельствует о повышении затрат углерода на дыхание единицы микробной биомассы, что можно рассматривать как адаптивную реакцию микробного комплекса, находящегося в неблагоприятных эдафических условиях. Значения метаболического коэффициента для исследованных почв не превышали 1, что косвенно свидетельствует об устойчивости микробоценоза к негативным проявлениям в педосфере (см. табл. 4). Вместе с тем, относительно высокие показатели  $qCO_2$  в отдельных горизонтах указывают на более активную минерализацию органического вещества, сдвиг микробного равновесия. Данный показатель хорошо диагностирует состояние микробиоты почв, поэтому также может быть использован в мониторинговых исследованиях.

Доступность органического углерода почвы для микроорганизмов и закрепление его в микробной биомассе могут быть охарактеризованы величиной доли микробного углерода в органическом углероде почвы (Смик/Сорг) [8]. В исследованных почвах величина Смик/Сорг в среднем варьировала в диапазоне от 0,1 до 4,1 %, с максимумом в верхних горизонтах. Более низкие значения данного показателя в городских почвах свидетельствуют о менее эффективном использовании органического вещества микроорганизмами. Выявленные внутрипрофильные различия величины удельного микробного дыхания, а также существенное варьирование показателя Смик/Сорг могут диагностировать неустойчивое функционирование микробиологических процессов цикла углерода в почвах антропогенно нарушенных экосистем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биологическая активность почв природных и трансформированных лесных экосистем имела как общие, так и специфические особенности. Общие обусловлены природно-климатическими условиями, бедностью первичными минералами почвообразующих пород, типом растительности. Специфические связаны с составом и структурой микробного сообщества, аминокислотным пулом почв, эколого-физиологическими показателями микробного сообщества. Именно последние, специфические свойства, отличают почвы города от их природных аналогов.

Проведенные исследования показали, что интенсивность микробной трансформации азот- и углеродсодержащих соединений в различных горизонтах почв естественных и антропогенно нарушенных экосистем происходит максимально в верхних органогенных горизонтах, в минеральных горизонтах процессы идут более слабо. В микробном сообществе присутствуют все наиболее важные группы микроорганизмов, осуществляющие трансформацию азот- и углеродсодержащих соединений. Значительные различия по содержанию Смк в почвах под листовыми насаждениями в черте города и контроле наблюдались в основном для верхней части профиля. Содержание углерода, иммобилизованного в микробной биомассе, в целом

выше в органогенных горизонтах почв под листовыми древостоями на территории города по сравнению с лесными почвами контрольных участков. На фоне урбанистического воздействия происходит изменение показателей функционирования микробного сообщества, круговорота биофильных элементов.

Высокая индикационная информативность аминокислотного пула, базального дыхания, микробного метаболического коэффициента почв позволяет использовать их в качестве одного из показателей состояния природной среды. Диапазон изменения микробного метаболического коэффициента можно рекомендовать использовать в качестве индикатора ранних нарушений в педосфере, изменений качества урбоэкосистемы.

Рассмотренные в работе показатели могут быть использованы при анализе состояния природной среды, биологической диагностике почв, изученные характеристики позволяют расширить реестр показателей, необходимых для проведения урбоэкологического мониторинга почв.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают большую признательность сотрудникам Института леса КарНЦ РАН: м. н. с. Е. Э. Костиной, н. с. А. Н. Пеккоеву за помощь при проведении полевых работ.

\* Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН. Тема 0220-2017-0004.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почвы: Уч. пособие для вузов по спец. «агрохимия и почвоведение». М.: Изд-во Московского ун-та, 1970. 487 с.
2. Благодатская Е. В., Ананьева Н. Д. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве // Почвоведение. 1996. № 11. С. 1341–1346.
3. Германова Н. И., Медведева М. В. Микрофлора почв заповедника «Кивач» // Природа государственного заповедника «Кивач». Труды КарНЦ РАН. 2006. № 10. С. 10–13.
4. Медведева М. В., Новиков С. Г., Федорец Н. Г. Экологическая оценка состояния почв промышленной зоны города Петрозаводска // Проблемы региональной экологии. 2015. № 2. С. 6–10.
5. Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.
6. Мошкина Е. В. Содержание свободных аминокислот в почвах хвойных лесов Карелии // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. 2008. № 4. С. 17–21.
7. Почва, город, экология / Под общ. ред. Г. В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. 320 с.
8. Сусьян Е. А., Ананьева Н. Д., Гавриленко Е. Г., Чернова, О. В., Бобровский М. В. Углерод микробной биомассы в профиле лесных почв южной тайги // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1233–1240.
9. Федорец Н. Г., Бахмет О. Н. Экологические особенности трансформации соединений азота и углерода в лесных почвах. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 240 с.
10. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10. P. 215–221.
11. Anderson J. P. E., Domsch K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils // Soil Science. 1980. Vol. 130. No 4. P. 211–216.
12. Anderson T. H., Gray T. R. G. Soil microbial carbon uptake characteristics in relation to soil management // FEMS Microbiol. Ecol. 1989. Vol. 74. P. 11–20.
13. Harris J. A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration // Eur. J. Soil Sci. 2003. Vol. 54. P. 801–808.
14. Ollinger S. V. Forest Ecosystems // Encyclopedia of life science. Macmillan Publishers Ltd. Nature Publishing Group, 2002. P. 1–10.
15. Osipov G. A., Turova E. S. Studying species composition of microbial communities with the use gas chromatography-mass spectrometry. Microbial community of kaolin // FEMS Microb. 1997. Rev. 20. P. 437–446.

- Medvedeva M. V.**, Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, FSC (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Mamai A. V.**, Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, FSC (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Bakhmet O. N.**, Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, FSC (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Moshkina E. V.**, Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, FSC (Petrozavodsk, Russian Federation)

### THE MICROBIOLOGICAL BACKGROUND OF NITROGEN- AND CARBON-BEARING COMPOUNDS' TRANSFORMATIONS IN URBAN SOILS

Results of the long-term surveys of the microbial transformation of major biophilic elements in soils of urbanized areas are reported. The studies have demonstrated that the soil carbon and nitrogen cycles in urban ecosystems have both specific as well as common features shared with soils of undisturbed forest communities. The composition and structure of the microbial community were within the natural range of variations typical of soils in this climatic zone. Owing to the high informative value of the amino acid pool and basal respiration of the soils, they can be used as an environmental indicator. The range of variations of the microbial metabolic quotient can be recommended as an indicator of an early stage of disturbance of the soil system and changes in the quality of the natural environment. The data can be used as a background for the ecological urban soil monitoring in Eastern Fennoscandia.

Key words: Karelia, mid-taiga subzone, urban soils, eco-physiological indicators of the microbial community, amino acid pool and basal respiration of the soils, microbial metabolic quotient

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors are deeply grateful to the researchers from the Forest Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences E. Kostina and A. Pekkojev for their help during fieldwork.

\* The study was conducted within the framework of the state assignment of the FRI KarRC RAS. Theme 0220-2017-0004.

#### REFERENCES

1. Arinushkina E. V. Manual detective of soils. Training posobie of chemical detective of soils for "agrochemistry and soils" professions. Moscow, 1970. 487 p. (In Russ.)
2. Blagodatskaya E. V., Anan'eva N. D. Assessment of microbial stability to pollutants decomposition in soils. *Eurasian Soil Science*. 1996. No 11. P. 1341–1346. (In Russ.)
3. Germanova N. I., Medvedeva M. V. Soil microflora of "Kivach". *Nature of Kivach – state reserve. Transactions of Karelia Research Centre of the Russia Academy of Sciences*. 2006. No 10. P. 10–13. (In Russ.)
4. Medvedeva M. V., Novikov S. G., Fedorec N. G. Ecological assessment of soils in the industrial zone of the city of Petrozavodsk. *Problems of regional ecology*. 2015. No 2. P. 6–10. (In Russ.)
5. Morozova R. M. Forest soils of Karelia. Leningrad, 1991. 184 p. (In Russ.)
6. Moshkina E. V. The contents of free amino acid in ground coniferous woods of Karelia. *Forestry Bulletin*. 2008. No 4. P. 17–21. (In Russ.)
7. Soils, city, ecology. Moscow, 1997. 320 p. (In Russ.)
8. Susyan E. A., Ananyeva N. D., Gavrilenko E. G., Bobrovskii M. V., Chernova O. V. Microbial biomass carbon in the profiles of forest soils of the southern taiga zone. *Eurasian Soil Science*. 2009. Vol. 42. No 10. P. 1148–1155. (In Russ.)
9. Fedorec N. G., Bahmet O. N. Geocological specifics of transformations substances of nitrogen and carbon in forest soils. Petrozavodsk, 2003. 240 p. (In Russ.)
10. Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 1978. Vol. 10. P. 215–221.
11. Anderson J. P. E., Domsch K. H. Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Science*. 1980. Vol. 130. No 4. P. 211–216.
12. Anderson T. H., Gray T. R. G. Soil microbial carbon uptake characteristics in relation to soil management. *FEMS Microbiol. Ecol.* 1989. Vol. 74. P. 11–20.
13. Harris J. A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *Eur. J. Soil Sci.* 2003. Vol. 54. P. 801–808.
14. Ollinger S. V. Forest Ecosystems. *Encyclopedia of life science*. Macmillan Publishers Ltd. Nature Publishing Group, 2002. P. 1–10.
15. Osipov G. A., Turova E. S. Studying species composition of microbial communities with the use gas chromatography-mass spectrometry. Microbial community of kaolin. *FEMS Microb.* 1997. Rev. 20. P. 437–446.

Поступила в редакцию 18.12.2017

**НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ВАСИЛЕВСКАЯ**

доктор биологических наук, профессор кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский арктический государственный университет (Мурманск, Российская Федерация)  
*n.v.vasilevskaya@gmail.com*

**АНТОН ВИКТОРОВИЧ СИДОРЧУК**

студент магистратуры кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский арктический государственный университет (Мурманск, Российская Федерация)  
*a.v.sidorchuk@gmail.com*

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОМБИНАТА  
«ПЕЧЕНГАНИКЕЛЬ» НА ДИНАМИКУ РОСТА *SORBUS GORODKOVII* POJARK  
(Мурманская область)**

Рассматриваются вопросы воздействия промышленного загрязнения медно-никелевого комбината «Печенганикель», расположенного в арктической зоне РФ, на динамику ростовых процессов рябины Городкова (*Sorbus gorodkovii* Pojark) – эндемичного вида Фенноскандии. Показатели динамики роста листьев и годичных побегов *S. gorodkovii* в импактной зоне обогатительной фабрики г. Заполярный свидетельствуют о том, что ценопопуляции рябины адаптированы к хроническому загрязнению среды тяжелыми металлами. Ингибирование ростовых процессов листьев происходит в начале их вегетации. Впервые показано, что рябина Городкова устойчива к высоким концентрациям тяжелых металлов. В условиях урбанизированной территории г. Заполярный ингибирование роста снижается. Ключевые слова: *Sorbus gorodkovii* Pojark, рост, промышленное загрязнение, тяжелые металлы, Арктика

Одной из базовых характеристик, перспективных для оценки стрессовых воздействий окружающей среды на растения, является динамика ростовых процессов<sup>1</sup>. Изучению роста и развития видов разных жизненных форм в зоне промышленного воздействия медно-никелевых комбинатов на территории Мурманской области посвящено много научных публикаций [5], [10], [29], [30], [31], [37]. Активно развиваются исследования генетической структуры и изменчивости популяций растений импактных районов. Это связано с тем, что в процессе заселения загрязненных территорий и приспособления к их условиям происходит изменение уровня генетического разнообразия и структуры популяций [28]. Особую актуальность имеет направление по изучению металлоустойчивости растений промышленных зон [8]. У ряда видов из загрязненных местообитаний выявлена более высокая резистентность к тяжелым металлам по сравнению с фоновыми условиями [26], [27], [32]. Такие данные получены в экспериментах с саженцами *Betula czerepanovii* (береза Черепанова) [26], [27], выращенными из семян деревьев, произрастающих в импактных районах Кольского полуострова. Исследователи считают, что более 70 лет загрязнения среды медно-никелевыми комбинатами в Мончегорске и Никеле привели к адаптации популяций березы к стрессовому воздействию тяжелых метал-

лов. Это один из немногих примеров адаптации древесных растений к антропогенному стрессу [26], [27]. Было высказано предположение, что выживаемость долгоживущих видов в сильно загрязненных средах объясняется, скорее, фенотипической пластичностью, а не эволюцией резистентности [26]. Однако есть некоторые примеры видов деревьев, толерантных к антропогенному загрязнению, особенно в родах *Betula* L. и *Salix* L. Ряд авторов отмечают высокую металлоустойчивость *Sorbus aucuparia* [25]. Выявлено, что *Sorbus gorodkovii* является наиболее устойчивым видом в зеленых насаждениях п. Никель [1].

Мурманская область – один из центров цветной металлургии на Северо-Западе России. Комбинаты «Печенганикель» и «Североникель» ОАО «Кольская горно-металлургическая компания» являются крупнейшими источниками техногенного загрязнения в Евро-Арктическом регионе. На долю этих предприятий приходится от 70 до 90 % ежегодных выбросов сернистого газа и практически 100 % никеля и меди на территории Мурманской области. В результате длительного воздействия аэротехногенных выбросов в импактных зонах этих предприятий образовались депрессивные территории, характеризующиеся высокой кислотностью и экстремальным содержанием Cu и Ni в почве и водоемах [19]. В 2016 году выбросы загрязняющих веществ

в атмосферу российскими предприятиями компании «Норникель» составили 1,94 млн т, в том числе диоксида серы 1,88 млн т, твердых веществ 0,01 млн т<sup>2</sup>.

Комбинат «Печенганикель» расположен на северо-западе Мурманской области (Печенгский район), в лесотундровой зоне. Медно-никелевый комбинат (работа которого в настоящее время приостановлена) находится в п. Никель (69° 25' с. ш., 30° 15' в. д.), обогатительная фабрика – в г. Заполярный (69° 25' с. ш., 30° 48' в. д.), зоны их техногенного воздействия существенно перекрываются [31]. Основными загрязняющими веществами при переработке сырья являются диоксид серы и пыль, содержащая тяжелые металлы (Ni, Cu, Co). В результате зонирования наземных экосистем в сфере техногенного воздействия комбината «Печенганикель» по состоянию почвенного покрова выделено три зоны, различающиеся по интенсивности загрязнения почв. I зона – сильное загрязнение – до 3,0 км от источника выбросов, II зона – среднее загрязнение – до 16 км, III зона – слабое загрязнение – до 25–30 км в юго-западном направлении [9]. Г. Н. Кошик [12] показано, что в 1998 году содержание Ni и Cu в непосредственной близости к комбинату «Печенганикель» составило 2 000–2 600 мг/кг, концентрации тяжелых металлов в почве токсичны для растений на расстоянии до 25–35 км. В настоящее время эти показатели практически не изменились [9]. По данным мониторинга за 2016 год, в Печенгском районе выявлен максимальный суммарный показатель загрязнения почв населенных мест (К почва = 6,6), характеризующий загрязнение почвы тяжелыми металлами. Здесь отмечены самые высокие по Мурманской области концентрации в почве ионов никеля и меди<sup>3</sup>.

В данной работе в качестве объекта исследования в зоне промышленного загрязнения тяжелыми металлами впервые использован эндемичный вид Фенноскандии – *Sorbus gorodkovii* Pojark (рябина Городкова). Исследования по особенностям морфологии, роста и развития *S. gorodkovii* единичны [3], [4], [15], [16], [17]. Л. И. Сальникова [16], [17] приводит сравнительную характеристику морфологических и анатомических особенностей строения листа и побега *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* и *S. sibirica*. В Мурманской области изучена динамика роста побегов и листьев, особенности мезоструктуры листа *S. gorodkovii* в г. Мурманск [3], [4], фертильность и полиморфизм пыльцы в г. Североморске [15].

Цель исследования – изучение воздействия промышленного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами на динамику роста побегов и листьев рябины Городкова (*Sorbus gorodkovii* Pojark) в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный ОАО «Кольская горно-металлургическая компания».

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в ценопопуляциях *Sorbus gorodkovii* Pojark (рябина Городкова), европейского гипоаркто-монтанного вида, являющегося одним из немногих представителей рода *Sorbus* L., который встречается в приполярных широтах. Рябина Городкова – эндемик Фенноскандии, занесена в Красную книгу Восточной Фенноскандии [34] и Красную книгу Мурманской области [13]. В естественных условиях встречается в тундровой и лесной зонах, горно-лесном и горно-тундровом поясах Фенноскандии. На территории России произрастает в заболоченных лесах и долинах тундровых рек Кольского полуострова [20]. Зимостойкий и быстрорастущий вид, повсеместно распространен в городских насаждениях Мурманской области [6]. Впервые в озеленительный ассортимент *Sorbus gorodkovii* была включена в 1941 году, когда для озеленения городов Крайнего Севера в основном были рекомендованы аборигенные виды как наиболее устойчивые к экстремальному климату.

В литературных источниках указывается различное число видов рода *Sorbus* L. в мировой флоре, систематика постоянно меняется в зависимости от того, как рассматриваются многочисленные полиплоидные апомикты [35]. Для исследования генетики популяций различных видов *Sorbus* L. в последние годы используются новые молекулярные маркеры [33]. Дискуссионным является вопрос о том, можно ли выделять *S. gorodkovii* в качестве отдельного вида [11], [16], [17], [22]. Есть несколько точек зрения: *S. gorodkovii* рассматривают как региональную расу *S. aucuparia* [22], как отдельный вид [16], [17], как гибрид *S. aucuparia* и *S. sibirica* [11], подвид *S. sibirica* Held. или *S. aucuparia* L. (*S. grabrata* Held) [22]. В данном исследовании мы придерживаемся точки зрения, что *S. gorodkovii* Pojark является самостоятельным видом.

В мае 2017 года в окрестностях обогатительной фабрики ОАО «Кольская горно-металлургическая компания» (г. Заполярный) заложено пять экспериментальных площадок, на которых произрастает рябина Городкова. Все ценопопуляции *S. gorodkovii* находятся в зоне полиметаллического загрязнения почв [9]. Две из них расположены на территории г. Заполярный: ПП<sub>1</sub> – детская спортивная площадка в центре города (1,64 км от обогатительной фабрики), ПП<sub>2</sub> – на выезде из города, рядом с автотрассой (1,8 км от фабрики). Вне города находятся экспериментальные площадки: ПП<sub>3</sub> – окрестности Хлебозавода (0,76 км от фабрики), ПП<sub>4</sub> – лесной массив, рядом с автотрассой (6,6 км от фабрики), ПП<sub>5</sub> – непосредственно на территории предприятия, в сквере около автотранспортного цеха (рисунок). Контрольная площадка расположена в экологически чистой зоне, в окрестностях поселка Верхнетуломский, на расстоянии 98 км от г. Заполярный. На каждой экспериментальной площадке маркировалось по 10 деревьев рябины.

Измерения параметров листьев и длины годичных приростов проводились в динамике, в течение июня и июля 2017 года. Замеры листьев (длины листа и совокупной длины двух

срединных листочков сложного листа) проводили каждые 7 суток. Объем выборки с каждой площадки по всем измеряемым показателям  $N = 50$ .

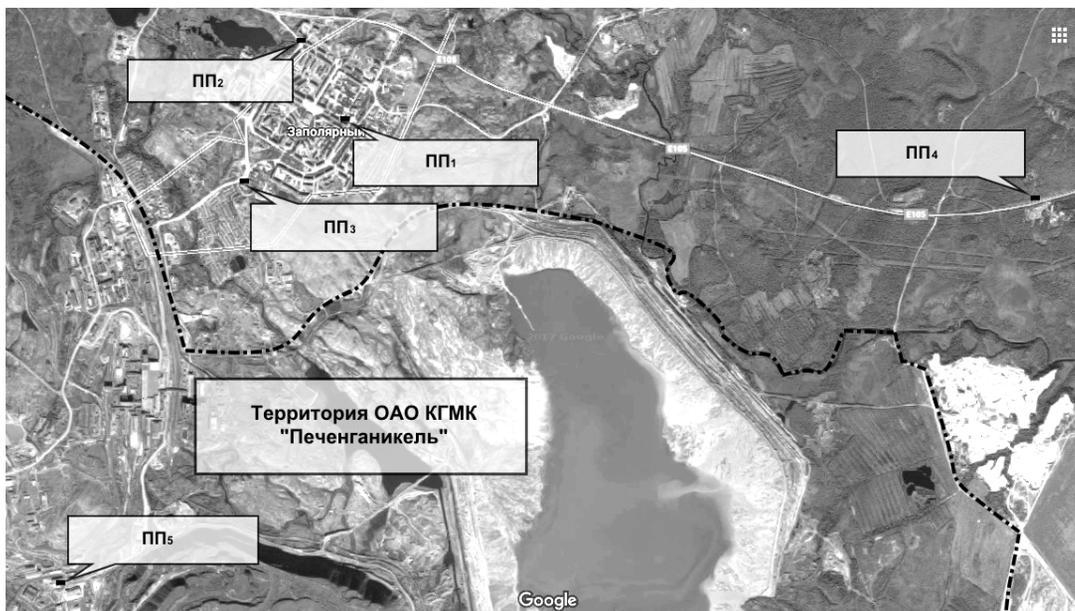


Схема расположения пробных площадок в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный: ПП<sub>1</sub> – детская спортивная площадка в г. Заполярный, ПП<sub>2</sub> – на выезде из г. Заполярный, ПП<sub>3</sub> – окрестности Хлебозавода, ПП<sub>4</sub> – лесной массив, ПП<sub>5</sub> – территория обогатительной фабрики

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения динамики роста листьев *S. gorodkovii* получено, что промыш-

ленное загрязнение оказывает ингибирующее воздействие на апикальный рост листьев (табл. 1).

Таблица 1

Динамика длины листьев *Sorbus gorodkovii* в зоне техногенного воздействия обогатительной фабрики (г. Заполярный) в 2017 году (в мм)

Дата	Пробные площадки					
	Контроль	ПП <sub>1</sub>	ПП <sub>2</sub>	ПП <sub>3</sub>	ПП <sub>4</sub>	ПП <sub>5</sub>
08.06	50,7 ± 1,6	14,5 ± 0,6	20,7 ± 0,9	18,4 ± 0,9	11,9 ± 0,7	15,7 ± 0,5
15.06	87,5 ± 2,9	43,6 ± 1,3	42,4 ± 1,1	46,3 ± 1,8	46,9 ± 1,5	43,1 ± 1,0
22.06	106,7 ± 3,1	71,1 ± 2,1	72,5 ± 2,1	69,6 ± 3,0	61,8 ± 2,7	63,4 ± 2,1
29.06	150,6 ± 3,9	100,2 ± 2,7	105 ± 3,3	93,8 ± 3,4	89,5 ± 2,5	94,5 ± 2,7
06.07	192 ± 4,2	156,4 ± 5,5	166 ± 3,7	154,5 ± 3,8	122,9 ± 3,6	133,9 ± 3,0
13.07	200 ± 4,9	183,4 ± 5,5	187,7 ± 4,1	165,4 ± 3,5	152,4 ± 3,0	154,9 ± 2,8
20.07	206 ± 4,7	183,8 ± 4,8	191,9 ± 3,6	172,3 ± 4,1	152,7 ± 3,3	155 ± 2,7

Особенно этот эффект выражен на ранних этапах онтогенеза вегетативных органов рябины. В начале роста листьев (8.06) их длина на экспериментальных площадках ПП<sub>2</sub> и ПП<sub>3</sub> на 60 %, ПП<sub>1</sub> и ПП<sub>5</sub> на 70 %, ПП<sub>4</sub> на 77 % меньше контрольных значений (см. табл. 1), к середине июня (15.06) ингибирование роста во всех ценопопуляциях *S. gorodkovii* снижается до отставания от контроля на 50 %. Во второй половине июня апикальный рост усиливается, длина листьев на пробных

площадках г. Заполярный (ПП<sub>1</sub>, ПП<sub>2</sub>) меньше, чем в контроле на 30 %, в окрестностях обогатительной фабрики (ПП<sub>3</sub>, ПП<sub>4</sub>, ПП<sub>5</sub>) – на 40 %. Особый интерес представляет тот факт, что если с середины июля этот показатель в ценопопуляциях *S. gorodkovii* г. Заполярный приближается к контрольным значениям, то на площадках ПП<sub>3</sub>, ПП<sub>4</sub>, ПП<sub>5</sub> ингибирование более пролонгированно, апикальный рост листьев отстает от контроля на 16–26 %.

Аналогичные тенденции прослеживаются в динамике роста листьев *S. gorodkovii* по показателю «длина срединных листочков сложного листа» (табл. 2). Получено, что в середине июня (15.06), сразу после развертывания листьев, длина срединных листочков на экспериментальных площадках ПП<sub>3</sub>, ПП<sub>4</sub> на 50 %, на ПП<sub>1</sub>, ПП<sub>2</sub>, ПП<sub>5</sub> на

65 % меньше, чем в контроле. Во второй половине июня эти различия резко снижаются и составляют от 20 до 36 % по площадкам. К 20 июля длина срединных листочков в ценопопуляциях *S. gorodkovii* г. Заполярный меньше контрольных значений только на 2–10 %, в то время как на ПП<sub>3</sub>, ПП<sub>4</sub>, ПП<sub>5</sub> на 16–20 %.

Таблица 2

Динамика длины листочков сложного листа *Sorbus gorodkovii* в зоне техногенного воздействия обогатительной фабрики (г. Заполярный) в 2017 году (в мм)

Дата	Пробные площадки					
	Контроль	ПП <sub>1</sub>	ПП <sub>2</sub>	ПП <sub>3</sub>	ПП <sub>4</sub>	ПП <sub>5</sub>
08.06	36,5 ± 1,7	–	–	–	–	–
15.06	57,6 ± 1,8	20,4 ± 1,5	20,5 ± 1,2	29 ± 1,7	30 ± 1,3	21,6 ± 1,1
22.06	67,4 ± 1,6	50,4 ± 1,7	53,6 ± 1,6	47,5 ± 2,2	43,1 ± 1,8	44,7 ± 1,6
29.06	88,3 ± 2,6	64 ± 1,7	71,4 ± 1,9	60,1 ± 1,7	58,4 ± 1,4	63,5 ± 1,6
06.07	104,8 ± 2,9	88 ± 2,7	94,5 ± 2,1	80,5 ± 2,6	73 ± 2,1	81 ± 1,8
13.07	115,5 ± 2,4	102,2 ± 2,8	109,3 ± 2,3	92,6 ± 2,6	91,6 ± 1,6	93,7 ± 1,5
20.07	117,2 ± 2,6	105,6 ± 3,3	115,1 ± 1,9	98 ± 2,2	93,5 ± 1,7	95,5 ± 1,5

Известно, что уменьшение длины, ширины и площади листовых пластинок, а также снижение динамики роста побегов вызывают высокие концентрации тяжелых металлов в окружающей среде [2], [5], [26]. Такие данные получены при исследовании динамики роста листьев в ценопопуляциях *Betula czerepanovii*, расположенных по градиенту промышленного загрязнения медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск) [5]. Рассчитаны значимые коэф-

фициенты корреляции между размерами листьев *B. czerepanovii* и концентрацией ионов меди и никеля в почве, при этом получено, что чем выше концентрация тяжелых металлов, тем меньше размеры листьев [5].

Исследование динамики годичных приростов *S. gorodkovii* в окрестностях обогатительной фабрики (г. Заполярный) показало, что промышленное загрязнение вызывает ингибирование их роста (табл. 3).

Таблица 3

Динамика длины годичных приростов *Sorbus gorodkovii* в зоне техногенного воздействия комбината «Печенганикель» (г. Заполярный) в 2017 году (в мм)

Дата	Пробные площадки					
	Контроль	ПП <sub>1</sub>	ПП <sub>2</sub>	ПП <sub>3</sub>	ПП <sub>4</sub>	ПП <sub>5</sub>
29.06	127 ± 6,7	82,1 ± 4,3	54,8 ± 3,23	61,6 ± 4,2	49,6 ± 3,5	50,3 ± 4,2
13.07	287,4 ± 15,7	240,7 ± 13,9	190,1 ± 8,4	170,5 ± 12,1	174,3 ± 12,5	169,2 ± 13,7
20.07	305,6 ± 16,4	249,8 ± 16,0	238,7 ± 12,3	204 ± 14,9	185,6 ± 15,2	169,6 ± 9,0

В конце июня длина годичных побегов *S. gorodkovii* на экспериментальных площадках ПП<sub>2</sub>, ПП<sub>4</sub>, ПП<sub>5</sub> меньше контрольных значений на 60 %, на ПП<sub>3</sub> – 50 %. Исключение составляет площадка ПП<sub>1</sub>, находящаяся в центре г. Заполярный, где приросты отстают от контроля только на 35 %. К середине июля рост побегов становится более интенсивным, однако ингибирование роста отмечается во всех исследуемых ценопопуляциях рябины. Особенно оно сильно выражено на пробных площадках ПП<sub>3</sub>, ПП<sub>4</sub>, ПП<sub>5</sub>, где приросты меньше контрольных значений на 40 %, в г. Заполярный (ПП<sub>1</sub>, ПП<sub>2</sub>) значения этого показателя меньше контрольных значений на

16–34 %. До конца июля эта тенденция сохраняется. Следует отметить, что данные по динамике роста побегов и листьев *S. gorodkovii* значительно отличаются. Рост годичных побегов под воздействием промышленного загрязнения среды тяжелыми металлами ингибируется более значительно. Аналогичные данные получены в условиях урбанизированной территории при исследовании ценопопуляций *S. gorodkovii* в г. Мурманске [3].

Основным источником поступления тяжелых металлов в растения является аэрозольное осаждение их из воздуха на поверхность листовой пластинки [21]. При этом высокие концентрации металлов вызывают ксерофитизацию и задержку

роста листьев [2], в то время как низкие приводят к увеличению их размеров, что связано с растяжением клеток и увеличением межклеточных пространств. Такие данные приводятся В. К. Жировым с соавторами [10], которые получили, что в экотопах со средним уровнем загрязнения в окрестностях медно-никелевого комбината «Североникель» (г. Мончегорск) наблюдается увеличение листьев берез. При возрастании степени загрязнения тяжелыми металлами размеры листьев значительно уменьшаются и начинают преобладать процессы ксерофитизации. Среди тяжелых металлов особенно высокую токсичность и большую скорость поступления в надземные органы имеет никель, оказывая сильное влияние на рост и развитие растений [18]. Избыток ионов Ni в среде приводит к множественным токсическим эффектам, таким как ингибирование фотосинтеза, снижение транспирации и уровня минерального питания растений с последующим нарушением роста и морфогенеза [36]. Замедление роста листьев *S. gorodkovii* в начале их онтогенеза в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный может быть вызвано токсичным воздействием ионов никеля, которые подавляют дифференциацию клеток меристем в первые 10 дней развития листа, то есть в период формирования листовой пластинки [18].

Медь является активатором отдельных ферментов и ферментных систем, связанных с окислительно-восстановительными реакциями клетки. В экспериментах А. А. Кулагина, Ю. Н. Шагиевой [14] установлено, что ионы меди приводят к задержке распускания первых листьев древесных растений, при этом продолжительность роста и средняя площадь листьев в эксперименте значительно ниже по сравнению с контрольными образцами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Замедление роста обычно рассматривается как одна из наиболее общих и известных реакций растений на промышленное загрязнение, включая диоксид серы и тяжелые металлы [31]. Во многих монографиях и научных обзорах не описывается различий в ростовых реакциях на промышленное загрязнение между травянистыми и древесными растениями [23], [31]. При этом длительное время традиционно считалось, что короткоживущие травянистые виды развиваются и адаптируются к этим изменениям, тогда как деревья из-за их долгого генеративного периода – нет [27].

Показатели динамики роста листьев и годичных побегов *S. gorodkovii* в импактной зоне медно-никелевого комбината «Печенганикель»

свидетельствуют о том, что ценопопуляции рябины Городкова адаптированы к хроническому загрязнению среды тяжелыми металлами. Полученные данные, на наш взгляд, подтверждают результаты норвежских и финских исследователей [26], [27], которые считают, что в условиях субарктического климата и промышленного загрязнения на Кольском полуострове происходят быстрая адаптация и эволюция резистентности деревьев к антропогенному стрессу.

Исследования показали, что, несмотря на значительное ингибирование роста листьев на ранних этапах развития и замедление роста побегов, *S. gorodkovii* является металлоустойчивым видом. Есть данные о том, что листья *S. aucuparia* аккумулируют в значительных количествах ионы меди, в меньших – ионы никеля [7]. По данным польских исследователей, *S. aucuparia* проявляет наибольшую устойчивость к воздействию поллютантов в условиях урбанизированных территорий по сравнению с другими видами деревьев [24]. В ходе исследований динамики роста листьев *S. gorodkovii* на территории г. Мурманска, где уровень загрязнения среды тяжелыми металлами значительно ниже, чем в окрестностях медно-никелевых производств, не выявлено ингибирования роста листьев на ранних этапах развития [3].

Полученные различия между ценопопуляциями *S. gorodkovii* в окрестностях обогатительной фабрики г. Заполярный, на наш взгляд, свидетельствуют также о том, что, помимо высоких концентраций тяжелых металлов, значимое влияние на рост деревьев оказывают и другие абиотические и биотические факторы. До сих пор экологические аспекты адаптации металлоустойчивых видов, например, характер влияния различных факторов среды, кроме высокого содержания тяжелых металлов в почве, мало изучены [8]. Известно, что большинство видов рода *Sorbus* являются гелиофитами и требуют высоких уровней освещенности, поэтому они предпочитают открытые местообитания [33]. Более высокие показатели роста в ценопопуляциях *S. gorodkovii* г. Заполярного могут быть связаны с отсутствием конкуренции, оптимальным для данного вида уровнем освещенности, а также с особенностями застройки города, его рельефом. Резко убывающие уровни содержания поллютантов отмечены в п. Никель на местах проб, расположенных в ветровой тени [1]. Для изучения механизмов адаптации *S. gorodkovii*, как металлоустойчивого вида, к комплексу абиотических и биотических факторов среды промышленной субарктической территории необходимы дополнительные эксперименты.

## ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование. М., 2008. 287 с.

<sup>2</sup> Годовой отчет ПАО ГМК «Норильский никель» за 2016 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.nornik.ru](http://www.nornik.ru) (дата обращения 12.12.2017).

<sup>3</sup> Доклад о состоянии и охране окружающей среды Мурманской области в 2016 году. Мурманск, 2017. 180 с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. С., Мельничук И. А., Трубачева Т. А., Пименов К. А., Крюковский А. С. Проблемы озеленения п. Никель Мурманской области // Лесной вестник. 2010. № 1. С. 41–48.
2. Башкот Е. Н., Дорогобидова А. С. Хлорофилльный фотосинтетический потенциал посева как биоиндикатор экологического мониторинга // Современные аспекты экологии и экологического образования: Материалы Всерос. конф. Казань, 2005. С. 402–404.
3. Василевская Н. В., Лебедев И. Е. Воздействие техногенного загрязнения г. Мурманска на рост и развитие *Sorbus gorodkovii* Pojark // Естественные и технические науки. 2016. № 4 (94). С. 23–28.
4. Василевская Н. В., Лебедев И. Е. Особенности мезоструктуры листа *Sorbus gorodkovii* Pojark в урбанизированной среде // Естественные и технические науки. 2015. № 11 (89). С. 143–147.
5. Василевская Н. В., Лукина Ю. М. Влияние техногенного загрязнения на динамику роста и мезоструктуру листа *Betula czerepanovii* Orlova (Мурманская область) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. Естественные и технические науки. 2011. № 8 (121). С. 7–11.
6. Василевская Н. В., Макарова Ю. С. Флора зеленых насаждений исторического центра г. Мурманска // Ученые записки МГПУ. Серия: Биол. науки. 2006. Вып. 2. С. 11–17.
7. Ветчинникова Л. В., Кузнецова Т. Ю., Титов А. Ф. Особенности накопления тяжелых металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях Севера // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 3. С. 68–73.
8. Дуля О. В. Эколого-генетические механизмы устойчивости травянистых растений к промышленному загрязнению Екатеринбурга: Дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2015. 212 с.
9. Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Самовосстановление почв в зонах воздействия промышленных предприятий Мурманской области при снижении техногенной нагрузки // Экологические проблемы северных территорий и пути их решения: Материалы 5-й Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Апатиты, 2014. С. 119–122.
10. Жиров В. К., Голубева Е. И., Говорова А. Ф., Хайтбаев А. Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. М.: Наука, 2007. 166 с.
11. Заиконникова Т. И. Рябина – *Sorbus L.* // Флора Восточной Европы. Т. X. СПб., 2001. С. 535–543.
12. Кощик Г. Н., Недбаев Н. П., Копчик С. В., Павлюк И. Н. Загрязнение почв лесных экосистем тяжелыми металлами под влиянием атмосферных выбросов комбината «Печенганикель» // Почвоведение. 1998. № 8. С. 988–995.
13. Красная книга Мурманской области. Мурманск, 2003. 400 с.
14. Кулагин А. А., Шагиева Ю. А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей. М.: Наука, 2005. 173 с.
15. Подола Е. С., Василевская Н. В. Репродуктивная биология *Sorbus gorodkovii* Pojark в условиях арктического города (на примере популяции г. Североморска) // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы V Всерос. науч. конф. с междунар. участием: В 3 ч. Ч. 1. Апатиты, 2014. С. 28–31.
16. Сальникова Л. И. Сравнительная анатомия побегов *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* и *S. sibirica* (Rosaceae) // Ботанический журнал. 1980. Т. 65. № 11. С. 1591–1600.
17. Сальникова Л. И. Морфология и анатомия листа *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* и *S. sibirica* (Rosaceae) // Ботанический журнал. 1982. Т. 67. № 9. С. 1264–1271.
18. Серегин И. В., Кожевникова А. Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // Физиология растений. 2006. Т. 53. С. 285–308.
19. Слуковская М. В., Новичонок Е. В., Кременецкая И. П., Мосендз И. А., Дрогобужская С. В., Марковская Е. Ф. Применение *Festuca rubra* L. в фиторемедиации: комплексная оценка влияния техногенного грунта на растение // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 4 (165). С. 70–80.
20. Флора Мурманской области. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. Вып. 4. 200 с.
21. Черненко Т. В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
22. Шауло Д. Н., Драчев Н. С., Кузьмин И. В. Интрогрессивная гибридизация в роде *Sorbus* (Rosaceae) таежной зоны Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. 2009. № 3. С. 209–215.
23. Air pollution and plant life / Eds. J. N. B. Bell, M. Treshow. Chichester: Wiley, 2002. 467 p.
24. Chwil S., Kozłowska-Strawska J., Tkaczyk P., Chwil P., Matraszek R. Assessment of air pollutants in an urban agglomeration in Poland made by the biomonitoring of trees // J. of Elementology. 2015. Vol. 20 (4). P. 813–826.
25. Davics A. A., Perkins W. F., Browell R. Geochemical assessment of mine waste cover performance post reclamation at Parkmine, Worth Wales // Geochemistry exploration environment analysis. 2016. Vol. 16. No 2. P. 127.
26. Eranen J. K. Rapid evolution towards heavy metal resistance by mountain birch around two subarctic copper – nickel smelters // J. Evol. Biol. 2008. Vol. 21. P. 492–501.
27. Eranen J. K., Nilsen J., Zverev V. E., Kozlov M. V. Mountain birch under multiple stressors – heavy metal-resistant populations co-resistant to biotic stress but maladapted to abiotic stress // J. Evol. Biology. 2009. Vol. 22. P. 840–851.
28. Ernst W. H. O. Evolution of metal tolerance in higher plants // For. Snow. Landsc. Res. 2006. Vol. 80. No 3. P. 251–274.
29. Kozlov M. V. Pollution resistance of mountain birch, *Betula pubescens* subsp. *czerepanovii*, near the copper – nickel smelter: natural selection or phenotypic acclimation? // Chemosphere. 2005. Vol. 59. P. 189–197.
30. Kozlov M. V. Sources of variation in concentrations of nickel and copper in mountain birch foliage near a nickel – copper smelter at Monchegorsk, north-western Russia: results of long – term monitoring // Environmental pollution. 2005. Vol. 135. P. 91–99.
31. Kozlov M. V., Zvereva E. L. Does impact of point polluters affect growth and reproduction of herbaceous plants // Water Air Soil Pollution. 2007. Vol. 186. P. 183–194.
32. Mengoni A. et al. Evolution of copper tolerance and increased expression of a 2 h – type – metallothionein gene in *Silene paradoxa* L. populations // Plant and Soil. 2003. Vol. 254. No 2. P. 451–457.
33. Pellicer J., Clermont S., Houston L., Rich T. C., Fay M. F. Cytotype diversity in the *Sorbus* complex (Rosaceae) in Britain: sorting out the puzzle // Annals of Botany. 2012. Vol. 110. P. 1185–1193.
34. Red Data Book of East Fennoscandia. Helsinki, 1998. 351 p.
35. Rich T. C., Proctor M. C. Some new British and Irish *Sorbus* L. taxa (Rosaceae) // Watsonia. 2009. Vol. 27. P. 207–216.

36. Stetsenko L. A., Kozhevnikova A. P., Kartashov A. V. Salinity attenuates nickel-accumulating capacity of *Atropa belladonna* plants // Russian J. of Plant Physiology. 2017. Vol. 64. No 4. P. 486–496.
37. Zverev V. E., Zvereva E. L., Kozlov M. V. Slow growth of *Empetrum nigrum* in industrial barrens: Combined effect of pollution and age of extant plants // Environmental Pollution. 2008. Vol. XX. P. 1–7.

Vasilevskaya N. V., Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation)

Sidorchuk A. V., Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation)

### THE IMPACT OF INDUSTRIAL POLLUTION OF PECHENGANIKEL PLANT ON THE DYNAMICS OF *SORBUS GORODKOVII* POJARK GROWTH (MURMANSK REGION)

The article deals with the problem of industrial pollution impact of “Pechenganickel” copper-nickel plant, located in the Arctic zone of the Russian Federation, on the growth dynamics of *Sorbus gorodkovii* Pojark (rowan Gorodkova) – an endemic species of Fennoscandia. Parameters of the growth dynamics of leaves and annual shoots of *S. gorodkovii* in the impact zone of Zapolyarny show that rowan cenopopulations have adapted to chronic pollution of the environment with heavy metals. The inhibition of growth processes in the leaves occurs at the beginning of their vegetation. For the first time it was shown that *S. gorodkovii* is resistant to high concentrations of heavy metals. In the urbanized area of Zapolyarny the inhibition of growth is reduced.

Key words: *Sorbus gorodkovii* Pojark, growth, industrial pollution, heavy metals, Arctic

#### REFERENCES

1. Alekseev A. V., Melnichuk I. A., Trubacheva I. A., Pimenov K. A., Kryukovskiy A. S. Problems of planting of greenery in the Village of Nikel, Murmansk Region. *Forestry Bulletin*. 2010. No 1. P. 41–48. (In Russ.)
2. Bakshot E. N., Dorogobilova A. S. Chlorophyll Photosynthetic Seeding Potential as a Bio-indicator of Environmental Monitoring. *Modern Aspects of Ecology and Environmental Education: Proc. All – Russian science conf.* Kazan, 2005. P. 402–404. (In Russ.)
3. Vasilevskaya N. V., Lebedevich I. E. The Impact of Technogenic Pollution of Murmansk on the Growth and Development of *Sorbus gorodkovii* Pojark. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2016. No 4 (94). P. 23–28. (In Russ.)
4. Vasilevskaya N. V., Lebedevich I. E. Features of the Mesostructure of the *Sorbus gorodkovii* Pojark Sheet in an Urbanized Environment. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2015. No 11 (89). C. 143–147. (In Russ.)
5. Vasilevskaya N. V., Lukina Yu. M. Influence of Technogenic Pollution on the Dynamics of Growth and Mesostructure of the Leaves of *Betula czerepanovii* Orlova (Murmansk region). *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences*. 2011. No 8 (121). P. 7–11. (In Russ.)
6. Vasilevskaya N. V., Makarova Yu. S. Flora of Green Plantations of the Historical Center of Murmansk. *Uchenye zapiski MGPU. Ser. Biologicheskie nauki*. 2006. Issue 2. P. 11–17. (In Russ.)
7. Vetchinnikova L. V., Kuznetsova T. Yu., Titov A. F. Features of Heavy Metals' Accumulation in the Leaves of Woody Plants in Urbanized Areas of the North. *Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science*. 2013. No 3. P. 68–73. (In Russ.)
8. Dulya O. V. Ecological and Genetic Mechanisms of Herbaceous Plants Resistance to Industrial Pollution in Ekaterinburg: Diss. Cand. Sci. (Biol.) Ekaterinburg, 2015. 212 p. (In Russ.)
9. Evdokimova G. A., Mozgova N. P. Self Regeneration of Soils in the Impact Zones of Industrial Enterprises in the Murmansk R while Reducing the Technogenic Load. *Ecological Problems of Northern Territories and Ways of their Solution: Proc. 5th All – Russian science conf.* Apatity, 2014. P. 119–122. (In Russ.)
10. Zhironov V. K., Golubeva E. I., Govorova A. F., Haitbaev A. H. Structural and functional changes in vegetation in conditions of technogenic pollution in the Far North. Moscow, 2007. 166 p. (In Russ.)
11. Zaikonnikova T. I. Rowan – *Sorbus* L. *Flora Vostochnoy Evropy*. Vol. X. St. Petersburg, 2001. P. 535–543. (In Russ.)
12. Koshik G. N., Nedbaev N. P., Koshik S. V., Pavlyuk I. N. Soil Pollution of Forest Ecosystems by Heavy Metals under the Influence of Atmospheric Emissions of “Pechenganickel”. *Eurasian Soil Science*. 1998. No 8. P. 988–995. (In Russ.)
13. The Red Data Book of the Murmansk region. Murmansk, 2003. 400 p. (In Russ.)
14. Kulagin A. A., Shagieva Yu. A. Woody plants and biological conservation of industrial pollutants. Moscow, 2005. 173 p. (In Russ.)
15. Podola E. S., Vasilevskaya N. V. Reproductive Biology of *Sorbus gorodkovii* Pojark in the Conditions of the Arctic City (on the Example of the Population of Severomorsk). *Ecological Problems of Northern Territories and Ways of their Solution: Proc. 5th All – Russian science conf.* Apatity, 2014. Part 1. P. 28–31. (In Russ.)
16. Salnikova L. I. Comparative Anatomy of Shoots of *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* and *S. sibirica* (Rosaceae). *Botanicheskiy zhurnal*. 1980. Vol. 65. No 11. P. 1591–1600. (In Russ.)
17. Salnikova L. I. Morphology and Anatomy of the Leaves of *Sorbus aucuparia*, *S. gorodkovii* i *S. sibirica* (Rosaceae). *Botanicheskiy zhurnal*. 1982. Vol. 67. No 9. P. 1264–1271. (In Russ.)
18. Seregin I. V., Kozhevnikova A. D. The Physiological Role of Nickel and its Toxic Effect on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2006. Vol. 53. P. 285–308. (In Russ.)
19. Slukovskaya M. V., Novichenok E. V., Kremenetskaya I. P., Mosends I. A., Drogo-buzhskaya S. V., Markovskaya E. F. Application of *Festuca rubra* L. in Phytomeration: a Comprehensive Assessment of the Impact of Technogenic Soil on the Plant. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2017. № 4 (165). P. 70–80. (In Russ.)
20. Flora of the Murmansk region. Moscow, Leningrad, 1959. Issue 4. 200 p. (In Russ.)

21. Chernenkova T. V. The reaction of forest vegetation to industrial pollution. Moscow, 2002. 191 p. (In Russ.)
22. Shaulo D. H., Drachev N. S., Kuzmin I. V. Introgressive Hybridization in the Genus *Sorbus* (*Rosaceae*) of the Taiga Zone of the Tyumen Region. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009. № 3. P. 209–215 (In Russ.)
23. Air pollution and plant life / Eds. J. N. B. Bell, M. Treshow. Chichester: Wiley, 2002. 467 p.
24. Chwil S., Kozłowska-Strawska J., Tkaczyk P., Chwil P., Matraszek R. Assessment of air pollutants in an urban agglomeration in Poland made by the biomonitoring of trees // *J. of Elementology*. 2015. Vol. 20 (4). P. 813–826.
25. Davics A. A., Perkins W. F., Browell R. Geochemical assessment of mine waste cover performance post reclamation at Parkmine, Worth Wales // *Geochemistry exploration environment analysis*. 2016. Vol. 16. No 2. P. 127.
26. Eranen J. K. Rapid evolution towards heavy metal resistance by mountain birch around two subarctic copper – nickel smelters // *J. Evol. Biol.* 2008. Vol. 21. P. 492–501.
27. Eranen J. K., Nilsen J., Zverev V. E., Kozlov M. V. Mountain birch under multiple stressors – heavy metal-resistant populations co-resistant to biotic stress but maladapted to abiotic stress // *J. Evol. Biology*. 2009. Vol. 22. P. 840–851.
28. Ernst W. H. O. Evolution of metal tolerance in higher plants // *For. Snow. Landsc. Res.* 2006. Vol. 80. No 3. P. 251–274.
29. Kozlov M. V. Pollution resistance of mountain birch, *Betula pubescens subsp. czerepanovii*, near the copper – nickel smelter: natural selection or phenotypic acclimation? // *Chemosphere*. 2005. Vol. 59. P. 189–197.
30. Kozlov M. V. Sources of variation in concentrations of nickel and copper in mountain birch foliage near a nickel – copper smelter at Monchegorsk, north-western Russia: results of long – term monitoring // *Environmental pollution*. 2005. Vol. 135. P. 91–99.
31. Kozlov M. V., Zvereva E. L. Does impact of point polluters affect growth and reproduction of herbaceous plants // *Water Air Soil Pollution*. 2007. Vol. 186. P. 183–194.
32. Mengoni A. et al. Evolution of copper tolerance and increased expression of a 2 h – type – metallothionein gene in *Silene paradoxa* L. populations // *Plant and Soil*. 2003. Vol. 254. No 2. P. 451–457.
33. Pellicer J., Clermont S., Houston L., Rich T. C., Fay M. F. Cytotype diversity in the *Sorbus* complex (*Rosaceae*) in Britain: sorting out the puzzle // *Annals of Botany*. 2012. Vol. 110. P. 1185–1193.
34. Red Data Book of East Fennoscandia. Helsinki, 1998. 351 p.
35. Rich T. C., Proctor M. C. Some new British and Irish *Sorbus* L. taxa (*Rosaceae*) // *Watsonia*. 2009. Vol. 27. P. 207–216.
36. Stetsenko L. A., Kozhevnikova A. P., Kartashov A. V. Salinity attenuates nickel-accumulating capacity of *Atropa belladonna* plants // *Russian J. of Plant Physiology*. 2017. Vol. 64. No 4. P. 486–496.
37. Zverev V. E., Zvereva E. L., Kozlov M. V. Slow growth of *Empetrum nigrum* in industrial barrens: Combined effect of pollution and age of extant plants // *Environmental Pollution*. 2008. Vol. XX. P. 1–7.

Поступила в редакцию 01.02.2018

**ИРИНА АЛЕКСЕЕВНА ЛЕПЕШЕВА**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*lepesheva.irina@yandex.ru*

**АНАТОЛИЙ ЕФРЕМОВИЧ БОЛГОВ**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*bolg@petsu.ru*

### ПОЛИФАКТОРНОСТЬ РАННИХ ЭМБРИОНАЛЬНЫХ ПОТЕРЬ У МОЛОЧНЫХ КОРОВ

Ранняя эмбриональная гибель (РЭГ) является одной из причин снижения плодовитости молочных коров. Целью исследования было определить возможности сохранения плодовитости коров на основе изучения комплекса факторов распространения и путей минимизации ранней эмбриональной гибели. Исследовано около 4 тысяч коров айрширской породы. Учитывали влияние на РЭГ паратипических, физиологических и наследственных факторов. Для регистрации РЭГ использован косвенный метод, основанный на учете продолжительности интервалов между смежными осеменениями коров. В среднем ранняя гибель эмбрионов зарегистрирована у 21,7 % коров при высоком коэффициенте изменчивости (39,5 %). Низкий уровень гибели эмбрионов отмечен у коров по первой лактации (12,1 %), наиболее высокий – у старых коров (7 лактаций и старше) – 27,3 %. Наименьший уровень РЭГ фиксировали при первом осеменении коров через 2,5–3,5 месяца после отела (10,8–7,4 %), наибольший – через 4 месяца и позднее (44,4 %;  $P < 0,01$ ). Более продуктивные коровы чаще предрасположены к данной аномалии: 12,3 % при удое 4 500 кг и менее и 26,5 % при удое более 7 000 кг молока. В весенний и летний сезоны отела регистрируется меньше случаев эмбриональной смертности (12,0–16,3 %) по сравнению с осенним и зимним (19,1–25,7). При недостаточном уровне кормления у коров ранняя гибель эмбрионов выявляется в 1,7 раза чаще, чем при хорошем кормлении. У дочерей разных быков частота РЭГ варьировала от 5,6 до 44,4 %. Существует возможность снижения уровня РЭГ у молочных коров путем реализации комплексных мер профилактики, оптимизации паратипических, физиологических, наследственных факторов.

Ключевые слова: корова, гибель эмбрионов, удой, плодовитость, осеменение

#### ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой в высокопродуктивных молочных стадах (7 000–10 000 кг молока) является снижение уровня воспроизводства. Выход телят от ста коров уменьшается до 75–80 % и менее. Среди основных причин выступают поздние сроки осеменения, повышение частоты гибели эмбрионов, фетальные аборт, постнатальная гибель телят.

Многими исследователями установлено, что фертильность коров и телок молочных пород составляет 85–90 %, оплодотворяемость от однократного осеменения достигает 70 % [6], [17], однако у 30–40 % маток зародыш не сохраняется [13], [20]. По данным разных исследователей, в 5–40 % случаев это обусловлено гибелью эмбриона в первые дни после оплодотворения до имплантации и после нее, на ранних стадиях развития – зиготы, бластоцисты и ранней гастрюляции.

Самой распространенной причиной снижения репродуктивной функции высокопродуктивных коров называют энергетическую несбалансированность рациона в период раздоя [7], [8]. Однако этиологические факторы данной аномалии не исчерпываются только указанной причиной, они многообразны и не до конца выяснены. Это вызывает необходимость дальнейшего изучения причин и путей снижения РЭГ, особенно у высокопродуктивных коров.

Целью нашей работы было изучение комплекса факторов инцидентности ранней эмбриональной гибели у молочных коров.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена в трех крупных стадах скота айрширской породы в Республике Карелия (Россия), обследовано около 4 тысяч коров. В холодное время года использовалось стойловое содержание коров, с мая по октябрь животные

находились на пастбище. Частота ранней эмбриональной гибели фиксировалась с учетом возраста коров, величины удоя за 305 дней лактации (ВУ), сроков осеменения после отела (индифференс-периода), сезона отела, условий кормления, наследственности животных.

Для исследований использовали базы данных по стадам, информацию из журналов осеменения и отелов коров, отчеты по бонитировке скота.

Известно, что существуют разные способы диагностики беременности у коров: клинические, в частности ультразвуковое исследование (УЗИ), лабораторные (по концентрации прогестерона в молоке и в сыворотке крови, по гормонам беременности в моче и другие). Однако их применение в полевых условиях и для массовых наблюдений часто затруднительно из-за дороговизны приборов и исследований, значительной трудоемкости.

В данной работе использовали косвенный метод идентификации эмбрионов или ранней их гибели, базирующийся на учете кратности осеменений коров после отела, интервала между осеменениями, специфики полового цикла [2], [18]. Основанием для регистрации РЭГ было наличие у коров удлиненного (25–35 суток) по сравнению с нормой (20–22 суток) интервала между смежными осеменениями. Этот интервал включает период от образования зиготы до гибели эмбриона и проявления нового полового цикла. В каждой конкретной выборке уровень РЭГ находили путем отношения количества коров с удлиненным интервалом между смежными осеменениями (25–35 суток) к общему числу обследованных животных, выраженного в процентах.

Кроме РЭГ учитывали следующие показатели воспроизводства у коров:

- период от отела до первого осеменения (индифференс-период – ИП), суток;
- период от первого до плодотворного осеменения (период осеменения – ПО), суток;
- оплодотворяемость от первого осеменения (ОПО), %;
- индекс осеменения (ИО), количество осеменений для оплодотворения;
- период от отела до плодотворного осеменения (сервис-период – СП), суток;
- период между смежными отелами (межотельный период – МОП), суток.

Влияние обеспеченности рациона энергией на РЭГ изучали у коров двух групп. Коровы 1-й группы получали за год 5 500–5 800 корм. ед., 2-й – 3 700 корм. ед.

Различия по уровню ранней эмбриональной гибели между группами отцовских полусестер определяли путем сравнения показателей дочерей трех лучших и трех худших быков.

Проведена биометрическая обработка данных. Рассчитаны средние значения признаков ( $\bar{X}$ ), ошибка средней ( $m\bar{x}$ ), коэффициент изменчивости ( $C_v$ ), корреляции ( $r \pm m_r$ ). Для

изучения доли генотипа быков в общей изменчивости РЭГ был определен коэффициент наследуемости  $h^2$ . Для всех цифровых данных определен критерий достоверности при трех уровнях вероятности. Для оценки достоверности различий отдельных признаков использован метод  $X^2$  [3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Средние параметры и изменчивость.* Не все исследованные показатели воспроизводства у айрширских коров оказались оптимальными. Установлен низкий уровень оплодотворяемости после первого осеменения – 40 % и относительно высокая частота – 21,7 % – ранней эмбриональной гибели (табл. 1).

Таблица 1

Параметры воспроизводства у коров айрширской породы

Показатель	Единицы измерения	$\bar{X}$	$m\bar{x}$	$C_v$ , %
N	голов	847		
ВУ*	кг	5295	40	20,4
ИП	сутки	59,4	1,0	47,4
ПО	сутки	63,3	2,1	73,0
ОПО	%	40		53,6
ИО		2,13	0,04	57,1
СП	сутки	99,9	1,9	55,5
МОП	сутки	363,8	1,9	12,5
РЭГ	%	21,7		39,5

Примечание. \* – ВУ – величина удоя за 305 дней лактации, ИП (индифференс-период) – период от отела до первого осеменения, ПО (период осеменения) – период от первого до плодотворного осеменения, ОПО – оплодотворяемость от первого осеменения, ИО – индекс осеменения, СП – сервис-период, МОП – межотельный период, РЭГ – ранняя эмбриональная гибель.

Все показатели воспроизводства отличались высокой изменчивостью, особенно период осеменения (73 %) и индекс осеменения (57,1 %). Ранняя эмбриональная гибель также характеризовалась высоким коэффициентом вариации – 39,5 %.

*Возраст коров.* Самый низкий уровень эмбриональной гибели имели коровы по первой лактации (12,1 %), чаще гибель эмбрионов регистрировалась у старых коров (27,3 %), в других возрастных группах уровень РЭГ был сравнительно одинаковый (21,4–22,5 %) (табл. 2).

Таблица 2

Влияние возраста коров на раннюю эмбриональную гибель

Показатель	Возраст, лактация					Вся выборка
	1	2	3–4	5–6	7 и старше	
n	166	151	304	130	44	795
РЭГ, %	12,1	22,5	21,4	21,5	27,3	20,0

*Продолжительность индифференс-периода (ИП).* Высокая гибель эмбрионов отмечена при осеменении коров ранее 30 суток после отела – 35,9 %. При увеличении ИП до 30–45 суток частота РЭГ снижалась в 2 раза ( $P < 0,01$ ). Лучшие показатели РЭГ установлены при первом осеменении коров через 2,5–3,5 месяца после отела (10,8–7,4 %). Резкое увеличение гибели эмбрионов до 44,4 % ( $P < 0,01$ ) обнаружено при осеменении коров через 120 и более суток после отела.

*Уровень кормления.* При низкой обеспеченности энергией у коров 2-й группы обнаружена более высокая частота гибели эмбрионов (19,1–38,9 %), чем у животных 1-й группы, лактирующих в лучших условиях кормления (7,6–18,2 %).

*Величина удоя.* Самый низкий уровень эмбриональной гибели установлен при удое до 4 500 кг молока (рисунок).



Увеличение удоя обусловило рост случаев гибели эмбрионов у коров. Максимальная частота РЭГ (26,5 %) зафиксирована у самых высокопродуктивных коров (7 001 кг молока и более).

Влияние уровня молочной продуктивности подтверждается коэффициентами корреляции между величиной удоя и эмбриональной гибелью (табл. 3). С возрастом эта связь увеличивается.

Таблица 3  
Корреляция между величиной удоя и частотой гибели эмбрионов

Лактация	n	r	P
1	157	0,055	–
2	117	0,183	>0,05
3–4	271	0,210	<0,001
5–7	174	0,390	<0,001

*Сезон отела.* В весенний и летний периоды число случаев гибели эмбрионов варьировало от 12,0 до 16,3 % (табл. 4), осенью и зимой частота РЭГ увеличивалась до 19,1–25,7 %.

Таблица 4  
Показатели РЭГ у коров при разных сезонах отела

Сезон отела	1-я группа		2-я группа	
	n	РЭГ, %	n	РЭГ, %
Зима	214	25,7	223	19,7
Весна	118	13,6	115	14,8
Лето	158	12,0	147	16,3
Осень	298	24,8	235	19,1

Примечание. 1-я группа – уровень кормления за год – 5 500–5 800 к. ед.; 2-я группа – уровень кормления за год – 3 700 к. ед.

Наиболее отчетливо и статистически достоверно влияние сезона проявилось при более высокой обеспеченности коров энергией.

*Влияние ранней эмбриональной гибели на другие показатели плодовитости коров.* После гибели эмбриона, зародившегося от первого осеменения, последовавшее второе осеменение привело к зачатию только в 48,3 % случаев. У коров-сверстниц, свободных от РЭГ, стельность наступила в 62,5 % случаев ( $P < 0,05$ ). РЭГ снижает уровень оплодотворяемости коров, что приводит к увеличению количества повторных осеменений. Распространение ранней эмбриональной гибели обуславливает увеличение индекса осеменения (ИО). Между этими признаками установлена существенная положительная связь, коэффициент корреляции у коров разного возраста варьировал от 0,386 до 0,468 ( $P < 0,01$ ).

Ранние эмбриональные потери влияют на продолжительность сервис-периода, увеличивая его и отодвигая срок наступления стельности. В случае если между смежными осеменениями регистрировалась гибель эмбрионов, последующее плодотворное осеменение наступало на 18–87 суток позже ( $P < 0,05$ ;  $P < 0,01$ ).

*Наследственность.* Частота ранней эмбриональной гибели у дочерей разных быков варьировала от 7,7 до 36,4 % в лучших кормовых условиях и от 5,6 до 44,4 % в худших условиях. Различия между группами отцовских полусестер по РЭГ достоверны ( $P < 0,01$ ). Дисперсионный анализ показал, что доля генотипа быков в общей изменчивости ранней эмбриональной гибели невелика, коэффициенты наследуемости ( $h^2$ ) в разных выборках равны от 0,5 до 4,6 %.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Ранняя гибель эмбрионов у коров является распространенной аномалией. По нашим данным, в Карельской популяции айрширской породы она составляет в среднем 21,7 %. Ряд исследователей сообщают об уровне РЭГ более 30 % среди коров разных пород [23], [27].

На уровень ранней эмбриональной гибели у коров влияют многочисленные атипичские факторы. Одним из важнейших является кормление. На эмбриогенез отрицательно влияют как низкий, так и слишком высокий энергетический уровни питания [25]. Нами установлено негативное влияние низкого уровня кормления на сохранность эмбрионов. По данным ряда исследователей, увеличение эмбриональной смертности у коров при низком уровне кормления, дефиците энергии и белка в рационе связано с нарушениями в эндокринной системе, в функционировании матки [10], с потерей живой массы, недостаточной кондицией тела [15], [27], с нарушениями обмена веществ [26].

Нами показано, что в сравнении с менее продуктивными высокопродуктивные коровы сильнее реагируют на дефицит питательных веществ в рационе увеличением частоты РЭГ (38,9 % против 21,3 %;  $P < 0,01$ ). Видимо, это обусловлено влиянием вызванного высоким уровнем стресс-фактора, задержкой полной инволюции матки, неподготовленностью маточных желез и слизистых оболочек, о чем сообщали ряд авторов [12].

В нашем исследовании обнаружена прямая связь величины удоя с частотой РЭГ (см. рис.), что подтверждается работами других авторов. По данным И. Хакана [5], с увеличением роста молочной продуктивности с 4 000 до 6 000 кг молока частота гибели эмбрионов повышается с 13 до 29 %. Называют разные причины этого нежелательного явления. Butler and Smith [9] связывают снижение результативности первого осеменения высокопродуктивных коров с недостаточной живой массой и упитанностью. Одной из возможных причин может быть медленное нарастание концентрации прогестерона, необходимого для развития эмбриона, а также недостаточная функциональная активность желтых тел и повышенная эмбриональная смертность [16]. Следовательно, повышение уровня продуктивности коров предрасполагает к увеличению частоты РЭГ.

Сроки осеменения коров после отела могут быть факторами инцидентности РЭГ. В нашем исследовании наиболее высокий уровень РЭГ зафиксирован при осеменении коров в первый месяц после отела, а также в случае самого позднего первичного осеменения. Последнее, вероятно, объясняется заболеваемостью половой системы и нарушением функциональной активности яичников [22]. Такие же результаты получены другими авторами [1], [23]. Очевидно, дифференцированный подход к срокам осеменения после отела в зависимости от продуктивности животных после стабилизации энергетического баланса является одним из путей решения проблемы.

Показатель РЭГ имеет возрастную изменчивость. У молочных коров с возрастом увеличиваются как ранние, так и поздние эмбриональные потери [11], [17], [28]. По сравнению с повторно-родящими у первородящих наблюдался самый низкий показатель ранней гибели эмбрионов (5,9 % против 34,3 %) [27]. Наши результаты (см. табл. 2) согласуются с этими данными.

Материалы исследований о влиянии сезона отела коров на частоту РЭГ противоречивы. Michel и др. [24] сообщают о высоком уровне РЭГ в летний период, что, возможно, обусловлено тепловым стрессом [14], [29]. Ряд авторов констатируют меньший уровень РЭГ весной и летом при пастбищном содержании [4]. Нами получены аналогичные данные (см. табл. 4). Меньшая частота РЭГ в весенне-летний период в наших исследованиях, возможно, объясняется отсутствием высоких устойчивых температур, характерным для климата Карелии, а также содержанием коров в этот период на пастбище.

Нами установлена невысокая генетическая изменчивость ранней эмбриональной гибели. В других исследованиях [19] также установлена низкая величина коэффициента наследуемости разных болезней и аномалий у скота, в том числе репродуктивных (от 0,5 до 2,5 %). По данным Lindhe с соавт. [21], наследуемость индекса плодовитости составила 5,5 %. Низкие показатели наследуемости признаков плодовитости обусловлены полигенностью их наследования под доминирующим влиянием средовых и физиологических факторов. Тем не менее выявленные различия между быками по РЭГ у дочерей, наличие генетической изменчивости оправдывают включение этого признака в селекционные программы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что существует возможность снижения уровня ранней эмбриональной гибели у молочного скота путем реализации комплексных мер профилактики, оптимизации паратипических и физиологических факторов. Следует обеспечивать коровам высокий уровень питания, сбалансированный по питательным веществам, исключать отрицательный баланс энергии, особенно на ранних стадиях развития зародыша, оптимизировать сроки осеменения после отела, контролировать стресс-факторы, состояние здоровья, обмен веществ, динамику живой массы, кондиции тела. Целесообразно показатель ранней эмбриональной гибели включать в комплексный индекс племенной ценности молочных коров и быков. Приоритет должен быть направлен на отбор матерей быков и производителей, на управление факторами инцидентности РЭГ в стадах и популяциях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байтлесов Е. У., Насибов Ф. Н., Тяпугин Е. А. и др. Аспекты эмбриональной смертности в скотоводстве // Ветеринарная патология. 2007. № 2. С. 228–231.
2. Братанов К., Бальбеж Х., Вежник З. и др. Теория и практика воспроизведения животных. М.: Колос, 1984. 272 с.
3. Лакин Г. Ф. Биометрия. Издание четвертое. М.: Высшая школа, 1990. 350 с.
4. Олексиевич Е. Эмбриональная смертность как один из факторов, снижающих показатели воспроизводства в молочном скотоводстве // Farm animals. 2015. № 1. С. 18–21.
5. Хакана И. А. Влияние удоя на плодовитость коров айрширской породы // Современное состояние и пути повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных: Материалы докладов межвузовской научно-производственной конф. Вологда, 1995. С. 37–43.
6. Andersen-Ranberg I., Klemetsdal G., Heringstad B., Steine T. Heritabilities, genetic correlations and genetic change for female fertility and protein yield in Norwegian dairy cattle // Journal of Dairy Science. 2005. Vol. 88. P. 348–355.
7. Beever D. E. The impact of controlled nutrition during the dry period on dairy cow health, fertility and performance // Animal Reproduction Science. 2006. Vol. 96. P. 212–226.
8. Bertoni G., Trevis E., Culamari L. Energy protein supplement and reproductive performance in early lactating dairy cows. Book of Abst. Of the 47th Ann. Meet of the Eur. Ass. For Anim. Prod. Norway. 1996. 162 p.
9. Butler W., Smith R. Interrelationships between energy balance on postpartum reproductive function in dairy cattle // Journal of Dairy Science. 1989. Vol. 7. P. 767–783.
10. Butler W. Review: effect of proyein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle // Journal of Dairy Science. 1998. Vol. 81. P. 2533–2539.
11. Cerri R., Galvao K., Juchem S., Chebel R., Santos J. Timed AI (TAI) with estradiol cypionate (ECP) or insemination at detected estrus in lactating dairy cows // Animal Science. 2003. Vol. 81 (Suppl. 1). P. 181.
12. Collard B. L., Boettcher P. J., Dekkers J. C. M., Petitclerc D., Schaeffer L. R. Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation // Journal of Dairy Science. 2000. Vol. 83–11. P. 2683–2690.
13. Diskin M., Austin E., Roche J. Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle // Domestic Animal Endocrinology. 2002. Vol. 23. P. 211–228.
14. Garcia-Ispuerto I., Lopez-Gatius F., Santolaria P., Yaniz J.L., Nogareda C., Lopez-Bejar M., De Rensis F. Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle // Theriogenology. 2006. Vol. 65. P. 799–807.
15. Guelou K. La mortalité embryonnaire chez la vache et l'influence de l'alimentation. Thèse doct vétér (Alfort). 2010. 133 p.
16. Grimard B., Freret S., Chevallier A., Pinto A., Pommert C., Humblot P. Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds // Animal Reproduction Science. 2006. Vol. 9. P. 31–44.
17. Humblot P. Use of pregnancy specific proteins and progesterone assays to monitor pregnancy and determine the timing, frequencies and sources of embryonic mortality in ruminants // Theriogenology. 2001. Vol. 56. P. 1417–1433.
18. Hunter R. H. F. Physiology and technology of reproduction in female domestic animals. Academic Press, London, 1980. 393 p.
19. Johansson K., Pösö J., Sander Nielsen U., Eriksson J.-Å., Aamand G. P. Joint genetic evaluation of other disease traits in Denmark, Finland and Sweden // Interbull Bulletin. 2008. Vol. 38. P. 107–112.
20. Kuhn M., Hutchinson J. Factors affecting heifer fertility in US Holsteins // Journal of Dairy Science. 2005. Vol. 88. P. 11–15.
21. Lindhe B., Barstrom L., Philipsson I., Stalhammar H. Impact of selection for daughters fertility in Swedish dairy cattle breeds // 14th Inter. Congress on Animal Reproduction. Stockholm, 2000. Vol. 1. P. 15.
22. Markusfeld O. Inactive ovaries in high-yielding dairy cows before service. Actiology and effect on conception // Veterinary record. 1987. P. 149–153.
23. Michel A., Ponsart C., Freret S., Humblot P. Influence de la conduite de la reproduction sur les résultats à l'insémination en période de pasturage // Renc. Rech. Ruminants. 2003. 10. P. 131–134.
24. Michel A., Ponsart C., Freret S., Humblot P. Effet des pratiques d'élevage sur le résultat à l'insémination des vaches Normande et Prim'Holstein // Elev. et Insém. 2004. Vol. 322. P. 4–16.
25. Puklova P. Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis / P. Puklova, J. Subrt, D. Skrip, R. Filipcik. 2011. Vol. LIX 2. № 1. (embryonic mortality in holstein cows). P. 211–218.
26. Rodriguez-Martinez H., Hultgren J., Båge A. et al. Reproductive performance in high-producing dairy cows: can we sustain it under current practice? // IVIS Reviews in Veterinary Medicine, I. V. I. S. (Ed.). International Veterinary Information Service, Ithaca NY (www.ivis.org), Last updated: 12-Dec-2008; R0108.1208 (Open Journal).
27. Saidani F., Slimane N., Khaldi S., Chetoui C. Embryonic and fetal mortality risk factors in dairy cattle in the mountainous and forested areas of Northwestern Tunisia // Journal of Dairy Science. 2012. Adv. Vol. 2 (7). P. 596–607.
28. Starbuck M., Dailey R., Inskeep E. Factors affecting retention of early pregnancy in dairy cattle // Animal Reproduction Science. 2004. Vol. 8. P. 27–39.
29. Sugiyama S., McGowen M., Kafi M., Phillips N. and Young M. Effects of increased ambient temperature on the development of in vitro derived bovine zygotes // Theriogenology. 2003. Vol. 60. P. 1039–1047.

**Lepesheva I. A.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Bolgov A. E.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

### MULTIPLE FACTORS OF EARLY EMBRYONIC LOSSES IN DAIRY COWS

The aim of the research was to study the factors of early embryo mortality (EEM) expansion and the ways of its minimization to determine the possibilities of maintaining cows' productivity. About 4 thousand Ayrshire cows were studied. The influence of paratypical, physiological and hereditary factors on EEM was taken into account. An indirect method, based on the recording of durations between intervals of contiguous cow inseminations was used to register EEM. EEM was registered in 21,7 % cows with a high variation factor (39,5 %). The low level of EEM was observed in the cows with the first lactation (12,1 %), the highest level (27,3 %) was

registered in old cows (seven lactations and more). The lowest level of EEM was registered in cows after the first insemination in 2,5–3,5 months after the first calving (10,8–7,4 %); the highest one – in 4 months and later (44,4 %;  $P < 0,01$ ). Cows with higher dairy productivity are more susceptible to this abnormality: 12,3 % of the cows with 4 500 kg and less of the milk yield and 26,5 % of the cows with the milk yield over 7 000 kg. EEM is observed 1,7 times more in case of deficient feeding than in case of full feeding. The frequency of EEM varied from 5,6 to 44,4 % in daughters of different bulls. It is possible to reduce the level of EEM in dairy cows by implementing complex measures of the disease prevention and optimization of paratypic, physiological and hereditary factors.

Key words: embryo mortality, milk yield, productivity, insemination, cow

## REFERENCES

1. Bajtlessov E. U., Nasibov F. N., Tyapugin E. A. i dr. Aspects of embryonic mortality in cattle breeding. *Veterinarnaya patologiya*. 2007. No 2. P. 228–231.
2. Bratanov K., Balbez H., Vezhnik Z i dr. Theory and practice of animal reproduction. Moscow, 1984. 272 p.
3. Lakin G. F. Biometry. Fourth edition. Moscow, 1990. 350 p.
4. Oleksievich E. Embryonic mortality as one of the factors that reduces the indicators of reproduction in dairy cattle. *Farm animals*. 2015. № 1. P. 18–21.
5. Khakana I. Influence of milk yield on fecundity of cows of Ayrshire breed. *Materialy dokladov mezhvuzovskoy nauchno-proizvodstvennoy konferentsii "Sovremennoe sostoyanie i puti povysheniya produktivnykh kachestv sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh"*. Vologda, 1995. P. 37–43.
6. Andersen-Ranberg I., Klemetsdal G., Heringstad B., Steine T. Heritabilities, genetic correlations and genetic change for female fertility and protein yield in Norwegian dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2005. Vol. 88. P. 348–355.
7. Beever D. E. The impact of controlled nutrition during the dry period on dairy cow health, fertility and performance // *Animal Reproduction Science*. 2006. Vol. 96. P. 212–226.
8. Bertoni G., Trevis E., Culamari L. Energy protein supplement and reproductive performance in early lactating dairy cows. Book of Abst. Of the 47<sup>th</sup> Ann. Meet of the Eur. Ass. For Anim. Prod. Norway. 1996. 162 p.
9. Butler W., Smith R. Interrelationships between energy balance on postpartum reproductive function in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 1989. Vol. 7. P. 767–783.
10. Butler W. Review: effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 1998. Vol. 81. 9. P. 2533–2539.
11. Cerri R., Galvao K., Juchem S., Chebel R., Santos J. Timed AI (TAI) with estradiol cypionate (ECP) or insemination at detected estrus in lactating dairy cows // *Animal Science*. 2003. Vol. 81 (Suppl. 1). P. 181.
12. Collard B. L., Boettcher P. J., Dekkers J. C. M., Petitclerc D., Schaeffer L. R. Relationships between energy balance and health traits of dairy cattle in early lactation // *Journal of Dairy Science*. 2000. Vol. 83–11. P. 2683–2690.
13. Diskin M., Austin E., Roche J. Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle // *Domestic Animal Endocrinology*. 2002. Vol. 23. P. 211–228.
14. Garcia-Ispuerto I., Lopez-Gatius F., Santolaria P., Yaniz J.L., Nogareda C., Lopez-Berjar M., De Rensis F. Relationship between heat stress during the peri-implantation period and early fetal loss in dairy cattle // *Theriogenology*. 2006. Vol. 65. P. 799–807.
15. Guelou K. La mortalité embryonnaire chez la vache et l'influence de l'alimentation. Thèse doct vétér (Alfort). 2010. 133 p.
16. Grimard B., Freret S., Chevallier A., Pinto A., Pomrort C., Humblot P. Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds // *Animal Reproduction Science*. 2006. Vol. 9. P. 31–44.
17. Humblot P. Use of pregnancy specific proteins and progesterone assays to monitor pregnancy and determine the timing, frequencies and sources of embryonic mortality in ruminants // *Theriogenology*. 2001. Vol. 56. P. 1417–1433.
18. Hunter R. H. F. Physiology and technology of reproduction in female domestic animals. Academic Press, London, 1980. 393 p.
19. Johansson K., Pösö J., Sander Nielsen U., Eriksson J.-Å., Aamand G. P. Joint genetic evaluation of other disease traits in Denmark, Finland and Sweden // *Interbull Bulletin*. 2008. Vol. 38. P. 107–112
20. Kuhn M., Hutchinson J. Factors affecting heifer fertility in US Holsteins // *Journal of Dairy Science*. 2005. Vol. 88. P. 11–15.
21. Lindhe B., Barstrom L., Philipsson I., Stalhammar H. Impact of selection for daughters fertility in Swedish dairy cattle breeds // 14th Inter. Congress on Animal Reproduction. Stockholm, 2000. Vol. 1. P. 15.
22. Markusfeld O. Inactive ovaries in high-yielding dairy cows before service. Actiology and effect on conception // *Veterinary record*. 1987. P. 149–153.
23. Michel A., Ponsart C., Freret S., Humblot P. Influence de la conduite de la reproduction sur les résultats à l'insémination en période de pasturage // *Renc. Rech. Ruminants*. 2003. 10. P. 131–134.
24. Michel A., Ponsart C., Freret S., Humblot P. Effet des pratiques d'élevage sur le résultat à l'insémination des vaches Normande et Prim'Holstein // *Elev. et Insém.* 2004. Vol. 322. P. 4–16.
25. Puklova P. Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis / P. Puklova, J. Subrt, D. Skrip, R. Filipcik. 2011. Vol. LIX 23. № 1. (embryonic mortality in holstein cows). P. 211–218.
26. Rodriguez-Martinez H., Hultgren J., Båge A. et. al. Reproductive performance in high-producing dairy cows: can we sustain it under current practice? // *IVIS Reviews in Veterinary Medicine, I.V.I.S.* (Ed.). International Veterinary Information Service, Ithaca NY (www.ivis.org). Last updated: 12-Dec-2008; R0108.1208 (Open Journal).
27. Saidani F., Slimane N., Khaldi S., Chetoui C. Embryonic and fetal mortality risk factors in dairy cattle in the mountainous and forested areas of Northwestern Tunisia // *Journal of Dairy Science*. 2012. Adv. Vol. 2 (7). P. 596–607.
28. Starbuck M., Dailey R., Inskeep E. Factors affecting retention of early pregnancy in dairy cattle // *Animal Reproduction Science*. 2004. Vol. 8. P. 27–39.
29. Sugiyama S., McGowen M., Kafi M., Phillips N. and Young M. Effects of increased ambient temperature on the development of in vitro derived bovine zygotes // *Theriogenology*. 2003. Vol. 60. P. 1039–1047.

Поступила в редакцию 16.10.2017

**ДМИТРИЙ ГЕОРГИЕВИЧ НОВИЦКИЙ**

магистр 2-го года обучения Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет, старший лаборант-исследователь лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии, Институт геологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*nov.dimka@mail.ru*

**НИКОЛАЙ ВИКТОРОВИЧ ИЛЬМАСТ**

доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*ilmast@onego.ru*

**ЗАХАР ИВАНОВИЧ СЛУКОВСКИЙ**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии, Институт геологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*slukovskii\_z@igkrc.ru*

**ИРИНА ВИКТОРОВНА СУХОВСКАЯ**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*sukhovskaya@inbox.ru*

**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ  
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАРЕЛИЯ  
НА ПРИМЕРЕ ОКУНЯ (*PERCA FLUVIATILIS*)\***

Приводятся результаты анализа накопления тяжелых металлов V, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb, Mo, Sb, Sn, W, определенных масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS, в мышечных тканях, печени и костях речного окуня *Perca fluviatilis* из озера Четырехверстного (площадь – 0,118 км<sup>2</sup>), расположенного в черте города Петрозаводска. Несмотря на относительную удаленность от центра, водоем подвержен постоянной антропогенной нагрузке. Потенциальными источниками тяжелых металлов, которые со сточными водами ближайшего водосбора поступают и аккумулируются в городском озере, являются объекты хозяйственной деятельности, выбросы автомобильного и железнодорожного транспорта и промышленных предприятий Петрозаводска. В работе представлены результаты исследования динамики накопления тяжелых металлов в донных отложениях, из которых следует, что повышенный уровень загрязнения осадков водоема оказывает влияние на накопление токсичных элементов в живых организмах, в том числе представителях ихтиофауны озера. Результаты опытного лова рыбы на оз. Четырехверстном показали, что ихтиофауна водоема представлена преимущественно речным окунем, наиболее массовым для Карелии видом рыб. Возрастной состав уловов включал особей четырех возрастных групп (от 2+ до 5+), доминировали пятилетки (21 %). Установлено, что наибольшее накопление во всех органах рыб отмечено для эссенциальных элементов P, Zn, Mn, среди тяжелых металлов наибольшим накоплением характеризуется Ni. Отмечено, что почти все тяжелые металлы активнее накапливаются в печени рыб. Большинство элементов имеют тесные корреляционные связи, например между Pb и V или Mo и W, позволяющие судить о единых антропогенных источниках поступления металлов в экосистему городского озера. Ключевые слова: речной окунь, *Perca fluviatilis*, тяжелые металлы, малое озеро, донные отложения, урбанизированная территория, антропогенное воздействие

## ВВЕДЕНИЕ

Проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды химическими элементами и веществами, становятся все более актуальными в связи с усилением техногенной нагрузки на природную среду. В результате развития промышленности, увеличения урбанизированных территорий, роста инфраструктуры изменяются циклы химических элементов, нарушается баланс физико-химических условий. Одними из наиболее опасных химических загрязнителей являются тяжелые металлы (ТМ), чье токсичное воздействие оказывает влияние на различные уровни организации живых организмов – от молекулярного до поведенческого.

Водные экосистемы крайне уязвимы к антропогенному воздействию. Изменение состояния окружающей среды чаще всего происходит постепенно, однако долговременная антропогенная нагрузка на водосборы озер, рек и других водных объектов приводит к изменению природных условий формирования химического состава экосистемы [7]. Значительное влияние на загрязнение водоемов и прилегающих территорий оказывает неэффективная очистка сточных вод, содержащих обогащенные ТМ выбросы предприятий и фабрик [32].

Рыбное население водных объектов может чутко реагировать на любые изменения, происходящие в экосистеме [9], [28], [33], [37]. Рыбы занимают верхний уровень в трофической системе водоемов. Они имеют более длительный цикл жизни по сравнению с беспозвоночными, поэтому могут информативно отражать последствия длительного загрязнения водных экосистем [15]. Биохимические изменения (белковый, углеводный, липидный обмен) в организме рыб являются индикаторами токсичного влияния загрязнителей, которые проявляются в торможении роста, нарушении процессов созревания гонад, элиминации отдельных видов [4]. Использование представителей ихтиофауны при проведении биогеохимических исследований поведения ТМ позволяет оценить общий уровень загрязнения водного объекта и его водосборной площади, учитывая, что методы биоиндикации имеют ряд несомненных преимуществ по сравнению с чисто химическими подходами. Кроме того, очевидна практическая значимость подобных исследований, принимая во внимание использование водных объектов в хозяйственных и рекреационных целях.

Цель данной работы – оценить уровень накопления тяжелых металлов в организме речного окуня, выловленного в озере Четырехверстном, которое расположено в пределах урбанизированной территории (г. Петрозаводск, Карелия).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Озеро Четырехверстное – небольшой водоем площадью 0,118 км<sup>2</sup>, расположенный на юго-востоке г. Петрозаводска (рис. 1). Котловина имеет

простое строение с глубоководными участками в северной и центральной частях. Из озера вытекает ручей Каменный, который впадает в Онежское озеро [2]. Показатели pH воды варьируют в пределах 7,2–8,0, при этом максимальные значения наблюдаются в весенний период [12], [21]. По показателям численности бактериопланктона озеро соответствует мезотрофным типам водоемов [14]. Донные отложения озера представлены сапропелями и алевроитовыми сапропелями, в самых верхних слоях отложений зарегистрировано повышенное содержание различных микроэлементов, в том числе ТМ [16] (рис. 2).



Рис. 1. Карта-схема расположения озера

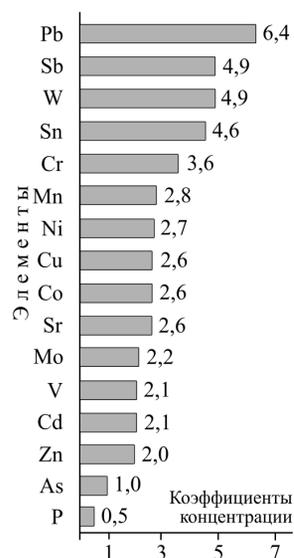


Рис. 2. Уровень накопления химических элементов в верхнем слое (0–20 см) донных отложений оз. Четырехверстного относительно фона

Несмотря на отделение озера от центра города, водоем испытывает значительную антропогенную нагрузку. Ранее на берегу водного объекта располагалась артель «Пимокатная», позднее ставшая фабрикой валяльной обуви, функционировавшей до 1997 года<sup>1</sup>. В настоящий момент вблизи озера проходят пути автомобильной и железной дорог. Непосредственно к берегу водоема прилегает гражданская застройка. Горожане используют озеро в хозяйственных и рекреационных целях. Детальные исследования донных

отложений другого петрозаводского озера Ламба показали возможность значительного влияния на малые водные объекты города предприятий машиностроительного комплекса, функционирующих и функционирующих до сих пор, а также фактора трансграничного переноса ряда загрязнителей от предприятий Европы и Северной Америки [23].

Материал по ихтиофауне был собран в августе 2016 года из сетных уловов (сети с ячейей 15–30 мм). Всего было отобрано 46 особей речного окуня *Perca fluviatilis*. Обработку ихтиологических проб проводили по общепринятым методикам [8], [18], [20]. Рыб измеряли, взвешивали, устанавливали пол, степень зрелости половых гонад. Возраст рыб определяли по жаберным крышкам. Затем для химического анализа у каждой отобранной особи окуня брали образцы мышц, костей и печени. Отобранные пробы тканей и органов рыб высушивались при температуре 105 °С, затем истирались до однородного состояния в измельчителе и разлагались смесью кислот в открытой системе. Содержание элементов (P, Mn, Sr, Mo, Sn, Sb, W, Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, V) в полученных растворах определяли масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS [36]. Статистические расчеты проводились с использованием программы Microsoft Excel 2007. В работе приводятся сравнения концентраций изучаемых элементов в органах речного окуня с их содержанием в донных отложениях и фитоперифитоне оз. Четырехверстного [12], [24], а также в мышцах, костях и печени речного окуня и плотвы оз. Ламба, также расположенного в черте г. Петрозаводска [22].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты опытного лова рыбы на оз. Четырехверстном показали, что ихтиофауна водоема представлена преимущественно речным окунем, наиболее массовым для Карелии видом рыб. По данным С. В. Герда [3], речной окунь встречается в 87–96 % озер региона. Окунь является второстепенным объектом промысла. Во многих водоемах республики его запасы недоиспользуются [10], [26], [27].

Возрастной состав уловов был представлен особями четырех возрастных групп (от 2+ до 5+), доминировали пятилетки (21 %) (рис. 3). Количество рыб в возрасте 2+ и 3+ составляло по 11 %, в возрасте 5+ – 3 % соответственно. Длина тела (ad) изученных особей колебалась от 10,2 до 15,6 см (медиана – 13,2), масса тела – от 18 до 54 г (медиана – 33,5). Средние показатели линейно-веса окуня приведены на рис. 4. Половой зрелости окунь в условиях оз. Четырехверстного достигает на третьем году жизни (в возрасте 2+). Половой состав уловов свидетельствует о некотором преобладании женских особей в популяции (54 %).

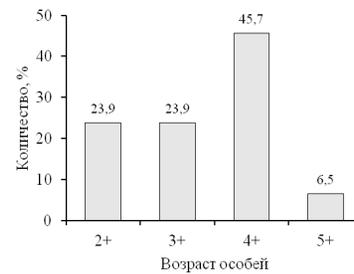


Рис. 3. Возрастной состав уловов окуня оз. Четырехверстного

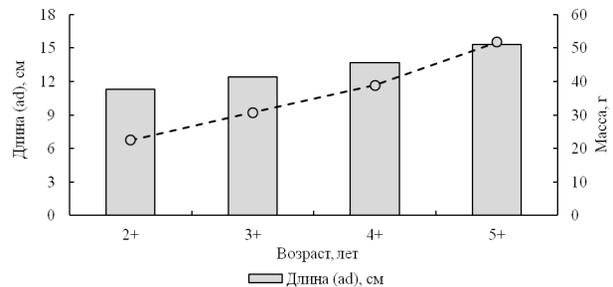


Рис. 4. Линейно-весовые показатели окуня оз. Четырехверстного

Комплексные исследования водоемов г. Петрозаводска проводились и ранее [22]. Сравнительный анализ биологических показателей окуня озер Ламба и Четырехверстного показал, что возрастной состав, линейно-весовые показатели популяций окуня обоих водоемов имеют схожие значения.

Содержание P, Mn, Sr, Sn, Sb, W, Cr, Ni, Cu, Zn и Pb было установлено во всех 100 % исследованных образцов в тканях и органах речного окуня оз. Четырехверстного. Содержание Mo обнаружено в 91 % всех проанализированных образцов, Cd – в 56 % и V – в 12 %. В табл. 1 представлены статистически обработанные данные по всем определенным химическим элементам.

Наибольшее накопление во всех органах отмечено для эссенциальных элементов P, Zn, Mn. Причем если в костях окуней концентрации Mn выше концентраций Zn, то в мышцах и печени Zn занимает второе место после P по уровню биоаккумуляции среди всех изученных элементов, а среднее содержание Mn ниже аналогичного значения по Ni.

**Фосфор (P)** наиболее активно накапливается в костях и в несколько раз меньше в печени и мышцах окуней:  $P_{\text{кости}} (51270) > P_{\text{печень}} (13360) > P_{\text{мышцы}} (10118)$ . Следует отметить, что содержание P в верхних слоях донных отложений оз. Четырехверстного (1815 мг/кг) значительно ниже концентраций этого элемента в мышцах, костях и печени окуней.

**Цинк (Zn).** Наибольшее содержание этого элемента наблюдается в костях – 133 мг/кг, а наименьшее в мышцах – 25 мг/кг. Среднее содержание металла в печени окуня составляет 99 мг/кг.

Таблица 1

Основные статистические параметры по выборкам концентраций химических элементов в костях, мышцах и печени окуня ( $x_{\text{ср.}}$  – среднее (невзвешенное) значение,  $x_{\text{max}}$  и  $x_{\text{min}}$  – максимальное и минимальное значения,  $S$  – стандартное отклонение,  $Me$  – медиана,  $V$  – коэффициент вариации, н/р – нет расчетных данных из-за недостаточного количества значений выборки, н/о – не обнаружено)

Значение	Кости, n = 14													
	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	P	Mn	Sr	Mo	Sn	Sb	W
$x_{\text{ср.}}$	н/р	2,35	13,69	1,03	133	н/р	0,36	51270	173	47,5	0,07	0,29	0,15	0,13
S	н/р	1,63	1,34	0,37	32	н/р	0,09	5087	60	10,4	0,04	0,06	0,08	0,04
$x_{\text{max}}$	0,48	7,91	16,50	1,54	203	0,05	0,50	58780	271	68,9	0,19	0,40	0,31	0,22
$x_{\text{min}}$	0,00	1,40	11,87	0,00	99	0,00	0,24	41700	81	35,7	0,02	0,16	0,05	0,06
Me	н/р	1,96	13,44	1,09	123	н/р	0,35	52060	180	45,1	0,05	0,29	0,16	0,12
$V, \%$	н/р	69,4	9,8	36,2	23,8	н/р	24,2	9,9	34,8	22,0	62,6	22,5	49,5	33,0

Значение	Мышцы, n = 14													
	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	P	Mn	Sr	Mo	Sn	Sb	W
$x_{\text{ср.}}$	н/р	1,96	14,4	1,25	25,1	н/р	0,26	10118	5,42	1,40	0,06	0,30	0,15	0,13
S	н/р	0,51	1,6	0,21	3,1	н/р	0,08	672	2,99	0,65	0,05	0,06	0,04	0,04
$x_{\text{max}}$	н/о	3,39	17,0	1,69	31,8	0,03	0,44	11250	10,1	2,43	0,15	0,43	0,24	0,20
$x_{\text{min}}$	н/о	1,28	12,1	0,98	20,0	0,00	0,18	8921	2,09	0,45	0,00	0,19	0,08	0,07
Me	н/р	1,90	14,6	1,22	24,5	н/р	0,25	10335	4,54	1,27	0,05	0,29	0,14	0,12
$V, \%$	н/р	26,1	11,1	17,0	12,2	н/р	28,7	6,6	55,2	46,5	79,6	19,8	27,4	30,6

Значение	Печень, n = 14													
	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	P	Mn	Sr	Mo	Sn	Sb	W
$x_{\text{ср.}}$	0,32	3,40	15,0	9,1	99	0,30	0,43	13360	28	1,68	0,78	0,80	0,36	0,18
S	0,67	1,62	2,5	1,2	15	0,15	0,21	1914	31	0,91	0,15	0,29	0,17	0,06
$x_{\text{max}}$	2,29	7,85	20,2	10,8	115	0,57	1,07	17770	130	4,09	1,03	1,21	0,61	0,33
$x_{\text{min}}$	0,00	1,73	11,2	6,6	71	0,00	0,22	9285	10	0,55	0,47	0,45	0,07	0,10
Me	н/р	3,14	15,0	9,1	105	0,28	0,37	13180	18	1,62	0,81	0,78	0,43	0,15
$V, \%$	213,6	47,6	16,6	13,0	14,9	49,7	47,7	14,3	110,5	54,1	19,6	36,4	48,5	34,6

Аналогичная динамика распределения Zn в органах окуня отмечается и в оз. Ламба (г. Петро- заводск), а в плотве оз. Ламба максимальное содержание этого элемента установлено в печени. В верхних слоях донных отложений оз. Четырех- верстного содержание Zn составляет от 211 до 299 мг/кг, что несколько больше, чем в органах и тканях рыб. Концентрации Zn в костях и печени окуня превышают содержание этого металла в фитоперифитоне водоема (88,2 мг/кг). Учитывая, что значение  $Zn^2$  для пищевой продукции составляет 40 мг/кг, в речном окуне наблюдается превышение содержания в 2 раза в печени и в 3 раза в костях.

**Марганец (Mn).** Этот эссенциальный элемент активнее аккумулируется в костях и значительно в меньшей степени в печени и мышцах:  $Mn_{кости} (173) > Mn_{печень} (28) > Mn_{мышцы} (5,42)$ . При этом содержание этого элемента в донных отложениях петрозаводского озера во много раз превышает его накопление в живых тканях.

**Никель (Ni).** Среднее содержание этого металла во всех пробах составляет от 11,2 до 20,5 мг/кг. Наибольшее накопление по средним значениям отмечено в печени окуня, а наименьшее – в костях. В органах окуня из оз. Ламба накопление этого элемента значительно ниже, основное накопление приходится на костные ткани. Концентрация Ni в поверхностном слое озерных осадков изучаемого водоема (59,9 мг/кг) превышает накопление металла в мышцах, костях и печени окуня, в то же время биоаккумуляция Ni рыбным сообществом оз. Четырехверстного выше, чем фитоперифитонем городского водоема.

**Стронций (Sr).** Наибольшее накопление этого элемента отмечено в костях рыб (47,5 мг/кг). На порядок меньше накопление Sr в печени и мышцах окуня:  $Sr_{кости} (47,5) > Sr_{печень} (1,68) > Sr_{мышцы} (1,40)$ .

**Медь (Cu).** Наибольшее содержание Cu отмечается в печени речного окуня – 9,07 мг/кг, что близко к концентрации этого металла в печени окуня оз. Ламба (9,68). Значительно меньше содержание Cu в мышцах и костях окуня:  $Cu_{печень} (9,07) > Cu_{мышцы} (1,25) > Cu_{кости} (1,03)$ . В приповерхностном слое донных отложений оз. Четырехверстного содержание Cu варьируется от 79 до 124 мг/кг, что в несколько раз выше концентрации в рыбном сообществе. Фитоперифитон озера также активнее аккумулирует Cu (19 мг/кг) по сравнению с речным окунем.

**Свинец (Pb).** Наибольшие концентрации приходятся на печень рыб, несколько меньше этот металл аккумулируется в костях и мышцах:  $Pb_{печень} (0,43) > Pb_{кости} (0,36) > Pb_{мышцы} (0,26)$ . В печени речных окуней оз. Ламба содержание этого элемента также имеет наибольшее значение. При этом накопление Pb в донных отложениях (35–59 мг/кг) и фитоперифитоне (6,62) оз. Четырехверстного во много раз превышает полученные концентрации по речному окуню.

**Хром (Cr).** Максимальное накопление Cr происходит в печени до 7,85 мг/кг при медиане 3,14. Этот металл обладает тенденцией к накоплению в живых тканях рыб озера, аналогичной свинцу:  $Cr_{печень} (3,4) > Cr_{кости} (2,35) > Cr_{мышцы} (1,96)$ . В живых тканях окуня оз. Ламба накопление этого металла находится на таком же уровне. Содержание Cr в донных осадках озера (от 82 до 136 мг/кг) при этом значительно превышает полученные концентрации по рыбам.

**Сурьма (Sb).** Элемент откладывается равномерно в костях и мышцах, однако максимальные концентрации приходятся на печень рыб:  $Sb_{печень} (0,36) > Sb_{кости} (0,15) = Sb_{мышцы} (0,15)$ . Содержание в донных отложениях этого металла (1,45 мг/кг) незначительно превышает данные по ихтиофауне.

**Олово (Sn).** Накапливается аналогично сурьме:  $Sn_{печень} (0,80) > Sn_{кости} (0,30) > Sn_{мышцы} (0,29)$ . Приведенные концентрации в живых тканях окуня значительно ниже данных по донным отложениям озера (3,4 мг/кг).

**Молибден (Mo).** Наибольшее накопление приходится на печень изученных рыб (0,78 мг/кг), в костях и мышцах установлены следовые концентрации этого металла (от 0,02 до 0,15 мг/кг), на порядок ниже содержание этого металла в поверхностных отложениях озера (2,3 мг/кг).

**Вольфрам (W).** Вольфрам равномерно распределяется в костях и мышцах, немного выше концентрации этого элемента в печени окуня:  $W_{печень} (0,18) > W_{кости} (0,13) = W_{мышцы} (0,13)$ . В донных отложениях содержание W составляет 1,6 мг/кг.

**Ванадий (V).** Распределение ванадия в органах окуня неравномерно. Этот металл не обнаружен в мышцах, но и в печени и костях отмечаются минимальные значения:  $V_{печень} (0,32) > V_{кости} (0,03)$ . Однако в печени, мышцах и костях окуня оз. Ламба этот элемент имеет гораздо большие значения (от 3,45 мг/кг в мышцах до 194 мг/кг в печени). В донных отложениях оз. Четырехверстного содержание V достигает 190 мг/кг в поверхностном слое (среднее содержание – 137 мг/кг).

**Кадмий (Cd).** Наибольшее содержание элемента наблюдается в печени – 0,3 мг/кг. Сравнивая полученные значения Cd (0,1 мг/кг), можно отметить превышение содержания в печени окуня городского озера. В меньшем количестве Cd накапливается в мышцах и костях рыб:  $Cd_{печень} (0,30) > Cd_{кости} (0,02) = Cd_{мышцы} (0,01)$ . В этих же органах речного окуня оз. Ламба Cd накапливается в несколько больших количествах в костях и мышцах и на одном уровне в печени. Содержание Cd в поверхностных слоях донных отложений озера (0,90 мг/кг) незначительно выше его накопления в организме окуня.

Полученные результаты по аккумуляции химических элементов, в первую очередь тяжелых металлов, отражают геохимическую спецификацию донных отложений оз. Четырехверстного,

чье загрязнение связано со множеством различных факторов, носящих как локальный, так и глобальный характер. К числу первых можно отнести деятельность нескольких заводов машиностроительного комплекса на территории города (Zn, Ni, Cr, Cu, W, Mo, Pb), фабрики валяльной обуви (P), выбросов автомобильного и железнодорожного транспорта (Pb, Cd, Zn), а также котельных и теплоцентрали (V, Cr, Ni) [11], [19], [23]. Кроме того, на повышение уровня накопления в донных отложениях Cd и Pb прямое влияние оказывает перенос загрязнителей от источников в других регионах на дальние расстояния [6], [34]. Учитывая, что питание рыбного сообщества озера, представленного речным омулем, тесно связано со средой донных отложений, то это и послужило главным фактором накопления тяжелых металлов в живых тканях. Тем более, что установлены факты накопления указанных загрязнителей в фитоперифитоне [12], а также олигохетах из речных отложений территории г. Петрозаводска, являющихся частью пищевого

рациона представителей рыбного сообщества городских водных объектов [36].

Для определения корреляционных связей между элементами был проведен анализ методом Пирсона (табл. 2). Наиболее тесная связь ( $R > 0,70$ ) установлена в парах Cu-Mo (0,96), Cu-Sn (0,84), Zn-P (0,72), Cd-Mo (0,83), P-Mn (0,84), P-Sr (0,98), Mn-Sr (0,78), Mo-Sn (0,89), Mo-Sb (0,77), Sn-Sb (0,84). В целом анализ корреляционной матрицы позволяет разделить все изученные элементы на две группы: в первую входят элементы, откладывающиеся преимущественно в костях рыб (Zn, P, Mn, Sr), а во вторую – элементы, накапливающиеся преимущественно в печени (V, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb, Mo, Sb, Sn, W). Почти все тяжелые металлы, кроме Zn, отнесены ко второй группе элементов. При этом отдельные установленные корреляционные связи, например между Pb и V или Mo и W, могут иметь прямое отношение к непосредственным антропогенным источникам, под чьим постоянным воздействием развивается в последние 100–150 лет экосистема оз. Четырехверстного [16], [25].

Таблица 2

Корреляционная матрица элементного состава омуля (жирным выделены статистически значимые коэффициенты, превышающие  $R_{крит.} = 0,389$  для  $p = 0,01$ )

	V	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	P	Mn	Sr	Mo	Sn	Sb
Cr	-0,03												
Ni	0,01	0,34											
Cu	0,32	<b>0,43</b>	0,25										
Zn	0,15	0,36	0,01	0,19									
Cd	<b>0,42</b>	0,30	0,24	0,83*	0,22								
Pb	<b>0,60</b>	0,22	0,15	0,37	0,32	0,37							
P	-0,13	-0,06	-0,23	<b>-0,45</b>	<b>0,72</b>	-0,34	0,09						
Mn	-0,12	-0,09	-0,22	-0,37	<b>0,59</b>	-0,32	0,12	0,84					
Sr	-0,14	-0,10	-0,21	-0,50	<b>0,69</b>	<b>-0,39</b>	0,02	<b>0,98</b>	<b>0,78</b>				
Mo	0,28	<b>0,45</b>	0,31	<b>0,96</b>	0,21	<b>0,83</b>	<b>0,44</b>	<b>-0,42</b>	-0,33	<b>-0,47</b>			
Sn	0,28	<b>0,43</b>	<b>0,39</b>	<b>0,84</b>	0,21	<b>0,68</b>	<b>0,61</b>	-0,35	-0,27	<b>-0,40</b>	<b>0,89</b>		
Sb	0,18	0,21	<b>0,38</b>	<b>0,66</b>	0,16	<b>0,50</b>	<b>0,48</b>	-0,30	-0,12	-0,31	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	
W	0,01	0,10	<b>0,38</b>	<b>0,44</b>	0,09	0,34	0,07	-0,26	-0,18	-0,26	<b>0,53</b>	<b>0,42</b>	<b>0,56</b>

Принимая во внимание важнейшую роль печени как основного органа детоксикации организма, можно объяснить повышенное накопление многих токсичных элементов именно в этом органе рыб городского озера [13]. Аналогичные закономерности отмечаются и в других водоемах Севера России [7], [17]. Накопление Sr и Zn в костях речного омуля связано со схожестью этих элементов по химическим свойствам с Ca, который они замещают в костях рыб при формировании и развитии скелета [4].

Исследуемые элементы являются неотъемлемой и необходимой составляющей для существования в природе любого организма. Однако их избыток, в том числе и избыток эссенциальных

элементов (Cu, Zn), способен негативно сказываться на состоянии рыбного сообщества водного объекта [4], [31]. Установлено, что повышенная аккумуляция тяжелых металлов в организме рыб различных регионов ведет к патологическим изменениям, нарушая работу тканей и органов [1], [5], [28], [30]. Следствием этого процесса являются слабая дегенерация особей и некроз тканей. При этом отмечается прямая зависимость между уровнем накопления тяжелых металлов в донных отложениях водного объекта и токсичным воздействием этих загрязнителей на представителей ихтиофауны [29], что говорит о потенциальной опасности повышенного накопления исследованных элементов в оз. Четырехверстном для всей

экосистемы и в будущем. Вероятно, выходом из сложившейся ситуации может быть очистка изученного водоема путем удаления загрязненного слоя донных отложений, составляющего до 30 см от границы вода – дно [16], [25]. По ориентировочным подсчетам, объем зараженного осадка озера составляет 35,4 тыс. м<sup>3</sup>, и для его вывоза понадобится 1 770 железнодорожных цистерн объемом по 20 м<sup>3</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования установили, что ихтиофауна оз. Четырехверстного, расположенного в черте г. Петрозаводска, представлена преимущественно речным окунем. Преобладающее значение имеют особи пятилетнего возраста. Анализ накопления тяжелых металлов в мышечной ткани, костях и печени окуня оз. Четырехверстного подтвердил его статус техногенно измененного водоема. Основным источником поступления металлов в организм рыб являются загрязненные донные отложения, в химическом

составе которых ранее было установлено повышенное содержание всех изучаемых элементов. Показано, что накопление большинства загрязнителей, к числу которых относятся V, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb, Mo, Sb, Sn, W, происходит в печени рыб, Zn наиболее активно накапливается в костях. Тесные корреляционные связи между различными элементами, например между Pb и V или Mo и W, позволяют судить о единых антропогенных источниках поступления указанных тяжелых металлов, накопление которых в связи с деятельностью промышленности, транспорта, а также глобального рассеяния ряда элементов происходило в оз. Четырехверстном на протяжении последних 100–150 лет. Начатые биогеохимические исследования необходимо продолжать в связи с важным рекреационным статусом городского водоема. Необходимо принять мер по очистке озера от загрязненных слоев донных отложений, в противном случае миграция тяжелых металлов по трофическим цепям экосистемы водного объекта будет продолжаться.

\* Исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания в Институте геологии КарНЦ РАН по бюджетной теме № АААА-А18-118020690231-1 «Эволюция окружающей среды в антропогене, геохимические аспекты динамики современных ландшафтов и прогнозирование экологических рисков на территории юго-восточной Финно-скандии», при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-35-00026 мол\_а «Биогеохимические аспекты загрязненности малых водных объектов урбанизированных территорий Южной Карелии», бюджетной темы № 0221-2017-0045 «Закономерности функционирования и динамика сообществ гидробионтов водных экосистем Европейского Севера» и бюджетной темы № 0221-2017-0050 «Биохимические механизмы, определяющие сходство и различия в развитии адаптаций у гидробионтов морских и пресноводных экосистем».

## ПРИМЕЧАНИЯ

- <sup>1</sup> Промышленность Петрозаводска // Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленность\\_Петрозаводска](https://ru.wikipedia.org/wiki/Промышленность_Петрозаводска) (дата обращения 10.09.2017).
- <sup>2</sup> СП 4089-86 Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов и мышьяка в продовольственном сырье и пищевых продуктах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахундов А. Г., Касимов Р. Ю., Рустамов Э. К. Мышечная ткань рыб как биомаркер экологического состояния рек // Вестник Московского государственного областного университета. Сер.: Естественные науки. 2013. № 2. С. 17–20.
2. Водные объекты города Петрозаводска: Учебное пособие / Ред. А. В. Литвиненко, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 109 с.
3. Герд С. В. Некоторые зоогеографические проблемы изучения рыб Карелии // Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР. Вып. 2. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Фин. ССР, 1949. С. 100–115.
4. Голованова И. Л. Влияние тяжелых металлов на физиолого-биохимический статус рыб и водных беспозвоночных // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 99–108.
5. Голованова И. Л., Филиппов А. А., Голованов В. К. Влияние температуры, pH и тяжелых металлов (медь, цинк) на активность карбогидраз щуки *Esox Lucius* L. и ее жертвы // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. 2011. № 2. С. 78–83.
6. Даувальтер В. А. Халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях водных объектов водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова // Геохимия. 2006. № 2. С. 237–240.
7. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Состояние пресноводных систем рыбного хозяйства Арктики // Север и рынок: формирование экономического порядка. № 3. Апатиты, 2013. С. 130–133.
8. Дгебуадзе Ю. Ю., Чернова О. Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 315 с.
9. Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Гидробиоценозы Костомукшского водохранилища (бассейн Белого моря) в условиях техногенного загрязнения // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук. 2013. Т. 15. № 3-3. С. 916–920.
10. Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Первозванский В. Я. Ресурсные виды // Мониторинг и сохранение биоразнообразия таежных экосистем Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. С. 81–85.
11. Климатические и геохимические аспекты формирования экологических рисков в Республике Карелия / Д. С. Рыбаков, Н. В. Крутских, Т. С. Шелехова, Н. Б. Лаврова, З. И. Слукровский, М. В. Кричевцова, О. В. Лазарева. СПб.: ООО «Элек-Сис», 2013. 130 с.
12. Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон в водоемах г. Петрозаводска (Республика Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2014. № 2. С. 43–50.
13. Ляврин Б. З., Бияк В. Я., Хоменчук В. О., Курант В. З. Фосфолипидный состав печени и жабр рыб как индикатор состояния поверхностных вод рек Тернопольщины // Биология Тварин. 2014. Т. 16. № 2. С. 56–65.

14. Макарова Е. М., Слуковский З. И., Медведев А. С., Новицкий Д. Г. Оценка качества воды малых озер г. Петрозаводска по показателям бактериопланктона в подледный период // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 6 (167). С. 72–77.
15. Моисеенко Т. И. Водная токсикология. Теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
16. Новицкий Д. Г., Слуковский З. И., Медведев А. С. Геохимия 26-сантиметрового техногенного слоя донных отложений малого лесного озера в черте города Петрозаводск (Республика Карелия) // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северо-Запада России: Материалы XXVII молодежной науч. школы-конференции, посвящ. памяти члена-корреспондента АН СССР К. О. Кратца и академика РАН Ф. П. Митрофанова. Апатиты: Издательство Кольского научного центра РАН, 2016. С. 184–188.
17. Попов П. А., Андросова Н. В., Попов В. А. Содержание тяжелых металлов в организме сибирского ельца (*Leuciscus leuciscus baicalensis*) // Вода: химия и экология. 2015. № 11. С. 88–92.
18. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
19. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
20. Сидоров Г. П., Решетников Ю. С. Лососеобразные рыбы водоемов европейского Северо-Востока. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 346 с.
21. Сластина Ю. Л., Ключкова М. А. Сезонная динамика фитопланктона оз. Четырехверстного // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана: Материалы IV Школы-конференции молодых ученых с междунар. участием (Петрозаводск, 26–28 августа 2011 г.). Петрозаводск, 2011. С. 121–123.
22. Слуковский З. И., Ильмаст Н. В., Суховская И. В., Борвинская Е. В. Анализ содержания тяжелых металлов в органах рыб озера Ламба (Петрозаводск, Республика Карелия) // Материалы VI Всероссийской научной конф. с междунар. участием (посвящ. 120-летию со дня рождения Г. М. Крекса и 110-летию со дня рождения О. И. Семенова-Тян-Шанского). Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2016. С. 214–218.
23. Слуковский З. И., Ильмаст Н. В., Суховская И. В., Борвинская Е. В., Гоголев М. А. Геохимическая специфика процесса современного осадконакопления в условиях техногенеза (на примере оз. Ламба, Петрозаводск, Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 10. С. 45–63.
24. Слуковский З. И., Медведев А. С. Вертикальное распределение микроэлементов в донных отложениях малого озера в условиях урбанизированной среды // Вода: химия и экология. 2015. № 3. С. 77–82.
25. Слуковский З. И., Медведев А. С. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озера Четырехверстного и Ламбы (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологическая химия. 2015. № 1. С. 56–62.
26. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.
27. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Окунь *Perca fluviatilis* (Percidae) разнотипных водоемов Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 2 (155). С. 57–62.
28. Терентьев П. М., Кашулин Н. А. Изучение пространственно-временных особенностей накопления некоторых тяжелых металлов в организмах сига водоемов северной Фенноскандии // Вестник Кольского научного центра РАН. 2010. № 1. С. 57–62.
29. Чуйко Е. В. Влияние содержания тяжелых металлов в донных отложениях на их биоаккумуляцию в ихтиофауне // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 3 (25). С. 139–144.
30. Шакирова Г. Р., Бикташева Ф. Х. Морфологические изменения печени, почек, сердца окуня *Perca fluviatilis* и щуки *Esox lucius* из озера Асылыкуль в результате загрязнения воды тяжелыми металлами // Ветеринария. 2012. № 2. С. 177–180.
31. Atta K. I., Abdel-Karim A. E., Elsheikh E. H. Ultrastructural study of the effect of heavy metals on the regenerating tail fin of the teleost fish, *Oreochromis niloticus* // The Journal of Basic & Applied Zoology. 2012. Vol. 65. Issue 4. P. 232–239.
32. Avila-Perez P., Balcazar M., Zarazua-Ortega G., Barcelo-Quintal I., Diaz-Delgado C. Heavy metal concentration in water and bottom sediments of a Mexican reservoir // The Science of Total Environment. 1999. No 234. P. 185–196.
33. Lydersen E., Lofgren S. Potential effects of metals in reacidified limed water bodies in Norway and Sweden // Environmental Monitoring and Assessment. 2002. Vol. 73. Issue 2. P. 155–178.
34. McConnell J. R., Edwards R. Coal burning leaves toxic heavy metal legacy in the Arctic // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2008. No 34. P. 12140–12144.
35. Nasr S. M., Okbah M. A., Kasem S. M. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution in Bottom Sediments of Aden Port, Yemen // International Journal of Oceans and Oceanography. 2006. Vol. 1. No 1. P. 99–109.
36. Slukovskii Z. I., Polyakova T. N. Analysis of Accumulation of Heavy Metals from River Bottom Sediments of the Urban Environment in the Bodies of Oligochaetes // Inland Water Biology. 2017. Vol. 10. No 3. P. 315–322.
37. Yi Y., Zhang S. Heavy metal (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) concentrations in seven fish species in relation to fish size and location along the Yangtze River // Environmental Science and Pollution Research. 2012. No 19. P. 3989–3996.

Novitsky D. G., Institute of Geology of Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

IImast N. V., Institute of Biology of Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

Slukovskii Z. I., Institute of Geology of Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

Suhovskaya I. V., Institute of Biology of Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### BIOGEOCHEMICAL ASPECTS OF WATER BODIES POLLUTION OF URBANIZED TERRITORIES IN THE REPUBLIC OF KARELIA ON THE EXAMPLE OF PERCH *PERCA FLUVIATILIS*

The results of the analysis of the accumulation of heavy metals, V, Cr, Ni, Cu, Cd, Pb, Mo, Sb, Sn, W are provided. The research was conducted with the mass spectroscopic method based on the XSeries-2 ICP-MS device. The muscular tissues, liver and bones of

the river perch *Perca fluviatilis* from Lake Chetyryokhvestnoe (area – 0,118 km<sup>2</sup>), located in the city of Petrozavodsk, were studied. Despite the relative remoteness from the center, the reservoir is constantly subjected to the anthropogenic load. Potential sources of heavy metals that enter and accumulate in the waters of the city lake together with the wastewater from the nearest catchment are economic entities and emissions coming from the road and rail transport and industrial enterprises in Petrozavodsk. The paper presents the results of the study of the dynamics of accumulation of heavy metals in bottom sediments. It was concluded that an increased level of contamination of the sediments of the reservoir affects the accumulation of toxic elements in living organisms, including representatives of the fish fauna of the lake. The results of experimental fishing on the Lake Chetyryokhvestnoe showed that the fish fauna of the reservoir is represented mainly by the river perch, the most common type of fish for Karelia. The age composition of catches was represented by the individuals of four age groups (from 2+ to 5+); five-year old species dominated (21 %). It was established that the greatest accumulation in all organs of the fish was noted for such essential elements as P, Zn, Mn. As for heavy metals, the greatest accumulation is characterized by Ni. It is noted that almost all heavy metals accumulate actively in the liver of the fish. Most elements have close correlation links, for example, between Pb and V or Mo and W. The obtained results speak of the presence of consistent anthropogenic sources of metals entering the ecosystem of the city lake.

Key words: river perch, *Perca fluviatilis*, heavy metals, small lake, bottom sediments, urban areas, anthropogenic impact

\* The study was performed in the framework of the state assignments at the Institute of Geology of the Karelian Research Centre of RAS on the budget theme № AAAA-A18-118020690231-1 “Evolution of the environment in anthropogen, geochemical aspects of the dynamics of modern landscapes and forecasting of environmental risks on the territory of southeastern Fennoscandia”, and with the financial support of RFBR grant No. 16-35-00026 mol a “Biogeochemical aspects of pollution of small water bodies in urbanized areas of Southern Karelia”, budget theme № 0221-2017-0045 “Regularities of the functioning and dynamics of communities of hydrobionts of aquatic ecosystems in the European North”, and the budget theme № 0221-2017-0050 “Biochemical mechanisms determining the similarities and differences in the development of adaptations of hydrobionts in marine and freshwater ecosystems”.

#### REFERENCE

1. Akhundov A. G., Kasimov R. Yu., Rustamov E. K. Muscular tissue of fish as a biomarker of the ecological state of rivers. *Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences*. 2013. № 2. P. 17–20. (In Russ.)
2. Water objects of the city of Petrozavodsk: Textbook. Ed. A. V. Litvinenko, T. I. Regerand. Petrozavodsk, 2013. 109 p. (In Russ.)
3. Gerd S. V. Some zoogeographical problems of studying fish of Karelia. *Natural resources, history and culture of the Karelian-Finnish SSR*. Iss. 2. Petrozavodsk, 1949. P. 100–115. (In Russ.)
4. Golovanova I. L. The influence of heavy metals on the physiological and biochemical status of fish and aquatic invertebrates. *Biology of Inland Waters*. 2008. № 1. P. 99–108. (In Russ.)
5. Golovanova I. L., Filippov A. A., Golovanov V. K. Effect of temperature, pH and heavy metals (copper, zinc) on the activity of carbohydrases of *Esox Lucius L.* pike and its prey. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fishery*. 2011. № 2. P. 78–83. (In Russ.)
6. Dauvalter V. A. Chalcophile elements (Hg, Cd, Pb, As) in the bottom sediments of the water bodies of the White Sea watershed within the Kola Peninsula. *Geochemistry*. 2006. № 2. P. 237–240. (In Russ.)
7. Dauvalter V. A., Kashulin N. A. The state of freshwater systems of Arctic fisheries. *North and the market: the formation of the economic order*. № 3. Apatity, 2013. P. 130–133. (In Russ.)
8. Dgebuadze Yu. Yu., Chernov O. F. Scales of bony fishes as a diagnostic and recording structure. Moscow, 2009. 315 p. (In Russ.)
9. Ilmast N. V., Sterligova O. P., Kuchko Ya. A., Pavlovsky S. A. Hydrobiocenoses of the Kostomuksha Reservoir (White Sea basin) in conditions of technogenic pollution. *Izvestiya Samara Scientific Center, Russian Academy of Sciences*. 2013. Vol. 15. № 3-3. P. 916–920. (In Russ.)
10. Ilmast N. V., Sterligova O. P., Pervozvansky V. Ya. Resource species. *Monitoring and conservation of biodiversity of taiga ecosystems in the European North of Russia*. Petrozavodsk, 2010. P. 81–85. (In Russ.)
11. Climatic and geochemical aspects of the formation of environmental risks in the Republic of Karelia / D. S. Rybakov, N. V. Krutskikh, T. S. Shelekhova, N. B. Lavrova, Z. I. Slukovskii, M. V. Krichevtsova, O. V. Lazarev. St. Petersburg, 2013. 130 p. (In Russ.)
12. Komulainen S. F. Phytoplankton in reservoirs of Petrozavodsk (Republic of Karelia). *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014. № 2. P. 43–50. (In Russ.)
13. Lyavrin B. Z., Biyak V. Ya., Khomenchuk V. O., Courant V. Z. Phospholipid composition of the liver and gills of fish as an indicator of the state of surface waters of the rivers of Ternopilshiny. *Біологія Тварин*. 2014. Vol. 16. № 2. P. 56–65. (In Russ.)
14. Makarova E. M., Slukovskii Z. I., Medvedev A. S., Novitsky D. G. Assessment of the water quality in small lakes in Petrozavodsk according to indicators of bacterioplankton in the subglacial period. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2017. No 6 (167). P. 72–77 (In Russ.)
15. Moiseenko T. I. Water toxicology. Theoretical and applied aspects. Moscow, 2009. 400 p. (In Russ.)
16. Novitsky D. G., Slukovskii Z. I., Medvedev A. S. Geochemistry of the 26-centimeter technogenic layer of the bottom sediments of a small forest lake in the city of Petrozavodsk (Republic of Karelia). *Actual problems of geology, geophysics and geoecology of the Northwest Russia. Materials XXVII youth scientific school-conference, dedicated to the memory of corresponding Member of the USSR Academy of Sciences K. O. Kratz and Academician of the Russian Academy of Sciences F. P. Mitrofanov*. Apatity, 2016. P. 184–188. (In Russ.)
17. Popov P. A., Androsova N. V., Popov V. A. The content of heavy metals in the organism of the Siberian Yelets (*Leuciscus leuciscus baicalensis*). *Water: chemistry and ecology*. 2015. No 11. P. 88–92. (In Russ.)
18. Pravdin I. F. Guide to the study of fish. Moscow, 1966. 376 p. (In Russ.)
19. Sayet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. Geochemistry of the environment. Moscow, 1990. 335 p. (In Russ.)
20. Sidorov G. P., Reshetnikov Yu. S. Salmonid fishes of the water bodies of the European North-East. Moscow, 2014. 346 p. (In Russ.)
21. Slastina Yu. L., Klochkova M. A. Seasonal dynamics of phytoplankton of the lake. Four-waved. *Water environment and natural and territorial complexes: research, use, protection: Materials of the IV School-conference of young scientists with international participation (Petrozavodsk, August 26–28, 2011)*. Petrozavodsk, 2011. P. 121–123.

22. Slukovskii Z. I., Ilmast N. V., Sukhovskaya I. V., Borvinskaya E. V. Analysis of heavy metals in fish organs of Lake Lamba (Petrozavodsk, Republic of Karelia). *Proceedings of the VI All-Russian Scientific Conference with international participation (dedicated to the 120th anniversary of the birth of G. M. Kreps and the 110th anniversary of the birth of O. I. Semenov-Tian-Shansky)*. Apatity, 2016. P. 214–218. (In Russ.)
23. Slukovskii Z. I., Ilmast N. V., Sukhovskaya I. V., Borvinskaya E. V., Gogolev M. A. Geochemical specificity of the process of modern sedimentation under conditions of technogenesis (on the example of Lake Lamba, Petrozavodsk, Karelia). *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2017. No 10. P. 45–63. (In Russ.)
24. Slukovskii Z. I., Medvedev A. S. Vertical distribution of microelements in bottom sediments of a small lake in an urbanized environment. *Water: chemistry and ecology*. 2015. № 3. P. 77–82. (In Russ.)
25. Slukovskii Z. I., Medvedev A. S. The content of heavy metals and arsenic in the bottom sediments of the Lakes Four Leaves and Lamba (Petrozavodsk, Republic of Karelia). *Ekologicheskaya Khimiya*. 2015. No 1. P. 56–62. (In Russ.)
26. Sterligova O. P., Ilmast N. V., Savosin D. S. Cyclostomes and fishes of fresh water of Karelia. Petrozavodsk, 2016. 224 p. (In Russ.)
27. Sterligova O. P., Ilmast N. V., Savosin D. S. Perch *Perca fluviatilis* (Percidae) of various water bodies of Karelia. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2016. № 2. P. 57–62. (In Russ.)
28. Terentyev P. M., Kashulin N. A. Study of the space-time features of the accumulation of some heavy metals in organisms of the whitefish of northern Fennoscandia. *Bulletin of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010. № 1. P. 57–62. (In Russ.)
29. Chuiko E. V. Influence of the content of heavy metals in bottom sediments on their bioaccumulation in the ichthyofauna. *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*. 2013. No 3 (25). P. 139–144. (In Russ.)
30. Shakirova G. R., Biktasheva F. Kh. Morphological changes of *Perca fluviatilis* perch and pike *Esox lucius* from Lake Asylkul as a result of water contamination with heavy metals. *Veterinary Medicine. Abstract journal*. 2012. № 2. P. 177–180. (In Russ.)
31. Atta K. I., Abdel-Karim A. E., Elsheikh E. H. Ultrastructural study of the effect of heavy metals on the regenerating tail fin of the teleost fish, *Oreochromis niloticus*. *The Journal of Basic & Applied Zoology*. 2012. Vol. 65. Issue 4. P. 232–239.
32. Avila-Perez P., Balcazar M., Zarazua-Ortega G., Barcelo-Quintal I., Diaz-Delgado C. Heavy metal concentration in water and bottom sediments of a Mexican reservoir. *The Science of Total Environment*. 1999. No 234. P. 185–196.
33. Lydersen E., Lofgren S. Potential effects of metals in reacidified limed water bodies in Norway and Sweden. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2002. Vol. 73. Issue 2. P. 155–178.
34. McConnell J. R., Edwards R. Coal burning leaves toxic heavy metal legacy in the Arctic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2008. No 34. P. 12140–12144.
35. Nasr S. M., Okbah M. A., Kasem S. M. Environmental Assessment of Heavy Metal Pollution in Bottom Sediments of Aden Port, Yemen. *International Journal of Oceans and Oceanography*. 2006. Vol. 1. No 1. P. 99–109.
36. Slukovskii Z. I., Polyakova T. N. Analysis of Accumulation of Heavy Metals from River Bottom Sediments of the Urban Environment in the Bodies of Oligochaetes. *Inland Water Biology*. 2017. Vol. 10. No 3. P. 315–322.
37. Yi Y., Zhang S. Heavy metal (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn) concentrations in seven fish species in relation to fish size and location along the Yangtze River. *Environmental Science and Pollution Research*. 2012. No 19. P. 3989–3996.

Поступила в редакцию 17.01.2018

**ДЕНИС СЕРГЕЕВИЧ САВОСИН**

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*sadenser@inbox.ru*

**НИКОЛАЙ ВИКТОРОВИЧ ИЛЬМАСТ**

доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», профессор кафедры зоотехнии, рыбоводства, агрономии и землеустройства Института биологии, экологии и агротехнологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*ilmast@karelia.ru*

**ОЛЬГА ПАВЛОВНА СТЕРЛИГОВА**

доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*o.sterligova@yandex.ru*

**ЕВГЕНИЙ СЕРГЕЕВИЧ САВОСИН**

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*szhenya@list.ru*

**НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ МИЛЯНЧУК**

стажер-исследователь лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*milyanchuk90@mail.ru*

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ РЯПУШКИ *COREGONUS ALBULA* ГИМОЛЬСКОГО ОЗЕРА (Западная Карелия)\***

Приводятся данные по видовому составу рыбного населения Гимольского озера. Основу опытных уловов составляли ряпушка, лещ, щука, окунь и плотва. Самую высокую численность в озере имеет ряпушка *Coregonus albula*, которая по популяционным показателям относится к мелкой форме. Изучены ее биологические показатели (длина, масса, плодовитость и питание). Сравнительный анализ полученных данных свидетельствует об увеличении линейно-весовых показателей ряпушки по сравнению с исследованиями прошлых лет, что, вероятно, связано с улучшением условий обитания (богатая кормовая база и ограниченное антропогенное воздействие). Современное состояние популяции ряпушки озера Гимольского может рассматриваться как благополучное. В настоящее время на водоеме развито только любительское рыболовство, промышленный лов отсутствует. Отмечено, что ряпушка в водоеме является основным объектом питания хищных рыб (щука, окунь, налим и судак). Обитание только одной формы ряпушки (мелкой) позволяет использовать ее для генетического и биохимического анализа. Полученные результаты дополняют информацию о современном состоянии популяций ряпушки в разнотипных водоемах Карелии. Результаты исследований необходимы для оценки и сохранения популяций сиговых рыб в регионе в целом.

Ключевые слова: озерные экосистемы, европейская ряпушка, *Coregonus albula*, экологическая форма, Гимольское озеро

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема сохранения биологических ресурсов в настоящее время становится одной из социально значимых, так как в результате хозяйственной деятельности происходят резкие изменения природных экосистем [1]. Среди биологических ресурсов, играющих важную экономическую роль, особое место занимают рыбные ресурсы [15].

В последние годы отмечается снижение рыбных запасов в пресноводных водоемах, особенно это актуально для популяций лососевых и сиговых видов рыб. На формирование рыбных запасов негативно влияют загрязнение водоемов, браконьерство, недостаточные объемы воспроизводства рыб. Гидростроительство, перераспределение стока рек, загрязнение нерестилищ привели к серьезному ухудшению условий воспроизводства ценных видов рыб и сокращению их уловов. Поэтому перспективы рационального использования водных биоресурсов в настоящее время связывают как с естественной продукционной возможностью экосистем, так и со степенью антропогенного воздействия на них [2], [6], [12], [19], [23], [26], [27], [28], [29].

В условиях ускоренной антропогенной трансформации водоемов сохранение структуры и функционирования водных объектов приобрело первостепенное значение [3], [10], [19]. Своевременная оценка изменений в рыбном населении пресноводных водоемов Севера России требует изучения состояния популяций ценных видов рыб, к которым относится и европейская ряпушка *Coregonus albula* (L.).

В настоящее время в границах России насчитывается менее 400 популяций европейской ряпушки, подавляющее большинство из них (332 популяции) находится на территории Карелии<sup>1</sup>. При этом ряпушка является одним из основных промысловых видов в водоемах республики.

Биологические показатели ряпушки, учитывая, что она обитает в озерах, существенно различающихся между собой по площади, глубинам, термическому режиму, уровню развития кормовой базы, трофическому статусу и т. д., изменяются в широких пределах [17], [24].

Целью данной работы является оценка биологических показателей ряпушки озера Гимольского (Западная Карелия), определение ее роли в экосистеме водоема.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал был собран на Гимольском озере в летний и осенний периоды 2013–2017 годов. Рыбу для анализа брали из опытных уловов. Жилковые сети (длина 30 м, высота 1,8 м, ячея 10–60 мм) устанавливали на разных участках и глубинах озера. Общий объем собранного материала составил 335 экземпляров. У выловленных рыб определяли длину, массу, пол, стадию зрелости, плодовитость и питание. Возраст определяли по чешуе, камеральную обработку материала

проводили с использованием общепринятых методик<sup>2</sup> [14], [18], [25]. Для сравнительного анализа биологических параметров ряпушки использовали литературные<sup>3</sup> данные [5], [8], [16].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гимольское озеро принадлежит к бассейну Балтийского моря, расположено в верхней части водосбора р. Суна. Озеро имеет удлиненную форму, площадь водного зеркала 80,5 км<sup>2</sup>, наибольшая длина – 25,3 км, ширина – 5,6 км (табл. 1). В озеро впадает большое количество рек, самые крупные из них – Торосозерка, Вотто, Чеба, вытекает одна река – Суна. Водоем мелководный, средняя глубина – 3,3 м, наибольшая – 30 м. Преобладающим типом донных отложений (до 4 м) являются каменистые с примесью песка и илы желтовато-коричневых оттенков. Вся центральная часть озера покрыта вязким серым илом<sup>4</sup>.

Таблица 1

Лимнологические показатели озера Гимольского

Показатель	Величина
Географические координаты водоема	63°00' с. ш., 32°19' в. д.
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	2 665
Площадь водной поверхности, км <sup>2</sup>	80,3
Средняя глубина, м	3,3
Максимальная глубина, м	20,0
Прозрачность, м	0,5–3,0
Прозрачность средняя, м	1,8
Показатель условного водообмена	3,17
pH	6,8
Наибольшая глубина, м	30
Средняя биомасса зоопланктона, г/м <sup>3</sup>	1,4
Средняя биомасса бентоса, г/м <sup>2</sup>	4,3

Вода Гимольского озера характеризуется слабокислой реакцией (pH – 6,8). Кислородный режим водоема благоприятен для обитания рыб (74–102 %).

Средняя величина биомассы зоопланктона составляет 0,6 г/м<sup>3</sup>, с колебаниями от 0,5 до 1,0 г/м<sup>3</sup>, зообентоса – 4,3 г/м<sup>2</sup> [10], [20]. Совокупность гидробиологических показателей<sup>5</sup> позволяет характеризовать водоем как мезотрофный с повышенным уровнем развития планктона и бентоса в заливах [11].

В 1960-х годах в ихтиофауне Гимольского озера было отмечено 15 видов, относящихся к 7 семействам<sup>6</sup>. В результате рыбоводных работ в 1980-е годы в водоеме появился судак, и число рыб составило 16 (табл. 2). Наиболее многочисленной рыбой в водоеме была и остается ряпушка, в сети часто залавливались щука, лещ, плотва и окунь.

В водоемах Республики Карелия ряпушка обитает в 332 озерах, в большинстве из них выявлена мелкая форма, в 60 – крупная. Для некоторых водоемов Карелии характерно совместное обитание двух форм ряпушки: Онежское, Ладожское, Топозеро, Умбозеро, Нюкозеро и Толвоярви [16], [17].

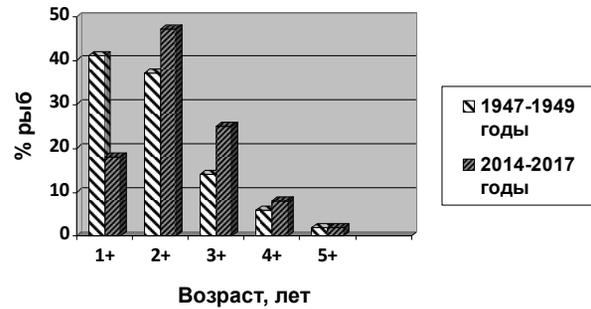
Таблица 2

Видовой состав рыб Гимольского озера

Вид/семейство
<b>Сем. Карповые – Cyprinidae</b>
Лещ – <i>Abramis brama</i> (L.)
Уклейка – <i>Alburnus alburnus</i> (L.)
Густера – <i>Blicca bjoerkna</i> (L.)
Язь – <i>Leuciscus idus</i> (L.)
Елец – <i>L. leuciscus</i> (L.)
Обыкновенный голянь – <i>Phoxinus phoxinus</i> (L.)
Плотва – <i>Rutilus rutilus</i> (L.)
<b>Сем. Щуковые – Esocidae</b>
Обыкновенная щука – <i>Esox lucius</i> (L.)
<b>Сем. Корюшковые – Osmeridae</b>
Корюшка – <i>Osmerus eperlanus</i> (L.)
<b>Сем. Сиговые – Coregonidae</b>
Европейская ряпушка – <i>Coregonus albula</i> (L.)
Обыкновенный сиг – <i>C. lavaretus</i> (L.)
<b>Сем. Налимовые – Lotidae</b>
Налим – <i>Lota lota</i> (L.)
<b>Сем. Рогатковые – Cottidae</b>
Обыкновенный подкаменщик – <i>Cottus gobio</i> L.
<b>Сем. Percidae – Окуневые</b>
Обыкновенный ерш – <i>Gymnocephalus cernuus</i> (L.)
Речной окунь – <i>Perca fluviatilis</i> (L.)
Обыкновенный судак – <i>Sander lucioperca</i> (L.)

Мелкая и крупные формы значительно отличаются по биологическим показателям (размер, масса, плодовитость, места нереста и т. д.). Длина мелкой ряпушки варьирует от 8,5 до 16,0 см, масса от 6,0 до 25,0 г, крупной соответственно 18,0–22,0 см и 50,0–200 г. Продолжительность жизни мелкой формы ряпушки составляет 5–6 лет (редко 9–12), крупной – достигает 16–18 лет. Килец (эндемик Онежского озера) живет до 16–18 лет [4], [17], [21]. Продолжительность жизни у рипуса (эндемика Ладожского озера) – 11–14 лет [7].

В Гимольском озере ряпушка в период нагула придерживается глубоководных участков, в период нереста обитает в пелагиали. Возрастной состав уловов был представлен пятью возрастными группами, с преобладанием трех-четырёхлеток (2+...3+), доля которых составляла более 70 % (рисунок).



Возрастная структура уловов ряпушки Гимольского озера

Длина выловленной ряпушки (АС) варьировала от 11 до 15 см, масса от 12 до 25 г, что характерно для популяций мелкой формы из других озер Карелии [13], [23], [24]. Сопоставление наших данных с результатами исследований 1950-х годов [8] свидетельствует об увеличении линейно-весовых показателей ряпушки во всех возрастных группах (табл. 3). Это, вероятно, связано с хорошей кормовой базой для рыб-планктофагов, отсутствием специализированного лова, который проводился на озере в 1950-х годах. В настоящее время лов рыбы осуществляется только местным населением и рыбаками-любителями.

Сравнительный анализ линейно-весового роста ряпушки разнотипных водоемов Карелии показал, что по темпу роста ряпушка озера Гимольского близка к росту мелкой формы из других водоемов исследуемого региона (см. табл. 3).

Мелководность водоема и вследствие этого хороший прогрев воды создают оптимальные условия для развития богатой кормовой базы для молоди рыб и планктофагов. Планктонное сообщество представлено коловратками и рачковыми формами, в его составе отмечено 37 видов, из них Rotifera – 7 видов, Cladocera – 22 вида, Copepoda – 8 видов [10], [20]. Младшие возрастные группы ряпушки активно питаются зоопланктоном в течение всего северного лета, лишь на короткое время предпочитая насекомых (в период их массового вылета). Наличие развитой высшей водной растительности вдоль побережья и в заливах способствует распространению зарослевого планктонного комплекса. В питании ряпушки отмечены *Kellicottia longispina*, *Asplanchna priodonta*, *Daphnia cristata*, *Bosmina spp.*, *Thermocyclops oithonoides*, *Mesocyclops leuckarti*, *Sida crystallina*. Высокая численность ряпушки в озере способствует хорошему освоению кормовых ресурсов водоема.

Абсолютная плодовитость ряпушки Гимольского озера варьировала от 1 200 до 2 950 икринок, относительная плодовитость – от 70 до 147 икринок. Показатели плодовитости ряпушки близки к характеристикам данного вида из других озер Карелии [7], [22], [24].

Таблица 3

Линейно-весовой рост мелкой ряпушки водоемов Карелии

Водоем	Возраст					Число рыб, экз.
	1+	2+	3+	4+	5+	
Длина (ас), см						
Гимольское [8] (1947–1949 годы)	9,3	10,2	11,1	11,8	13,3	220
Гимольское (наши данные) (2014–2017 годы)	10,7	12,0	13,0	14,0	15,0	335
Онежское [16]	10,5	12,0	13,2	15,5	–	290
Ладожское [7]	8,6	11,4	12,8	14,5	15,8	1 000
Тулос [22]	8,4	11,3	12,0	13,8	–	25
Масса, г						
Гимольское (1947–1949 годы)	7,0	9,0	12,0	17,0	20,0	220
Гимольское (2014–2017 годы)	12,0	16,0	18,0	20,0	25,0	335
Онежское	11,0	17,0	24,0	32,0	–	290
Ладожское	7,0	13,0	18,0	26,0	36,0	1 000
Тулос	6,0	14,0	17,0	22,0	–	25

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные работы показали, что мелкая форма ряпушки относится к наиболее массовым промысловым видам рыб Гимольского озера и составляет основу уловов рыбаков-любителей. Анализ полученных биологических показателей позволяет оценить современное состояние популяции ряпушки исследуемого водоема как благополучное. При отсутствии интенсивного специализированного лова ряпушка активно растет, размножается, кормовая база озера в полной мере обеспечивает ее по-

требности в питании. При этом ряпушка в водоеме является основным объектом питания хищных рыб (щука, окунь, налим и судак).

Обитание только одной формы ряпушки (мелкой) позволяет использовать ее для генетического и биохимического анализа. Полученные результаты дополняют информацию о современном состоянии популяций ряпушки в разнотипных водоемах Карелии, что необходимо для составления баз данных, оценки запасов и охраны сиговых рыб в регионе в целом.

\* Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания № 0221-2017-0045, Программы Президиума РАН, проекта № 0221-2018-0002, проекта РФФИ № 18-04-00163а.

## ПРИМЕЧАНИЯ

- 1 Герд С. В. Некоторые зоогеографические проблемы изучения рыб Карелии // Природные ресурсы, история и культура Карело-Финской ССР. Вып. 2. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Финской ССР, 1949. С. 100–115.
- 2 Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М., 1974. 254 с.
- 3 Озера Карелии: природа, рыбы и рыбное хозяйство (справочник). Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1959. 618 с.
- 4 Озера Карелии: природа, рыбы и рыбное хозяйство (справочник). Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1959. 618 с.; Озера Карелии: справочник. Петрозаводск, 2013. 464 с.
- 5 Озера Карелии: справочник. Петрозаводск, 2013. 464 с.
- 6 Озера Карелии: природа, рыбы и рыбное хозяйство (справочник). Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1959. 618 с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А. Ф., Ленченко В. Ф., Старобогатов Я. И. Биоразнообразие, его охрана и мониторинг // Мониторинг биоразнообразия. М.: ИПЭЭ РАН, 1997. С. 16–25.
2. Алимов А. Ф., Орлова М. И., Панов В. Е. Последствия интродукции чужеродных видов для водных экосистем и необходимость мероприятий по ее предотвращению // Виды-вселенцы в европейских морях России. Апатиты: КНИЦ РАН, 2000. С. 12–23.
3. Алимов А. Ф., Бульон В. В., Голубков С. М. Динамика структурно-функциональной организации экосистем континентальных водоемов // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами: Сборник научных статей. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. С. 241–253.
4. Бабий А. А., Сергеева Т. И. Крупная ряпушка – килец *Coregonus albula* Онежского озера // Вопросы ихтиологии. 2003. Т. 43. № 3. С. 345–351.
5. Беляева К. И. Ряпушка *Coregonus albula* L. Топозера // Труды Карело-Финского отделения ВНИОРХ. 1951. Т. 3. С. 69–88.
6. Дгебугадзе Ю. Ю. Национальная стратегия, состояние, тенденции, исследования, управление и приоритеты в отношении инвазий чужеродных видов на территории России // Инвазии чужеродных видов в Голарктике: II междунар. симп. Борок: ИБВВ РАН, 2003. С. 26–34.

7. Дятлов М. А. Рыбы Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 281 с.
8. Зыков П. В. Рыбы Гимольского озера // Известия Карело-Финского филиала АН СССР. 1951. № 3. С. 75–81.
9. Ильмаст Н. В., Китаев С. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Гидроэкология разнотипных озер южной Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 92 с.
10. Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А., Кучко Т. Ю., Савосин Д. С., Павловский С. А., Милянчук Н. П. Особенности гидробиоценозов озера Гимольское (Карелия) // Тезисы докладов 5-й Междунар. конф. памяти Г. Г. Винберга. СПб., 2015. С. 93–94.
11. Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
12. Криксунов Е. А., Бобырев А. Е., Бурменский В. А. Обеспеченность ресурсами и ее роль в развитии инвазионных процессов // Общая биология. 2010. Т. 71. № 5. С. 436–451.
13. Лукин А. А., Первозванский В. Я., Шарова Ю. Н., Георгиев А. П. Ихтиофауна // Озера Карелии: Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 56–57.
14. Мина М. В. Задачи и методы изучения роста рыб в природных условиях // Современные проблемы ихтиологии. М., 1981. С. 177–195.
15. Павлов Д. С., Стриганова Б. Р. Биологические ресурсы России и основные направления фундаментальных исследований // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Т-во научных изданий КМК, 2005. С. 4–20.
16. Покровский В. В. Япушка озер Карело-Финской ССР. Петрозаводск, 1953. 107 с.
17. Потапова О. И. Крупная япушка *Coregonus albula* L. Л.: Наука, 1978. 133 с.
18. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М., 1966. 376 с.
19. Решетников Ю. С., Попова О. А., Стерлигова О. П. и др. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
20. Савосин Д. С., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П., Кучко Я. А., Милянчук Н. П., Беляев Д. С. Популяционные показатели сиговых рыб озера Гимольского (Карелия) // Вестник рыбохозяйственной науки. 2016. Т. 3. № 4. С. 35–45.
21. Стерлигова О. П. О кильце *Coregonus albula* Онежского озера // Лососевые (Salmonidae) Карелии: Сб. Вып. 1. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1972. С. 70–73.
22. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Китаев С. П., Первозванский В. Я. Биология рыб озера Тулос // Проблемы лососевых на Европейском севере: Сб. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 171–179.
23. Стерлигова О. П., Павлов В. Н., Ильмаст Н. В., Павловский С. А., Комулайнен С. Ф., Кучко Я. А. Экосистема озера Сямозера (биологический режим и использование). Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2002. 119 с.
24. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.
25. Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М., 1959. 162 с.
26. Ilmast N., Sterligova O. The results of the introduction of coregonid fishes into Vashozero, a lake in southern Karelia // Ann. Zool. Fennici. 2004. № 41. P. 191–194.
27. Lehtonen H. Biology and stock assessment of Coregonids by the Baltic coast of Finland // Finnish Fishery Research. 1981. № 3. P. 31–83.
28. Marjomäki T. J. Analysis of the spawning stock-recruitment relationship of vendace *Coregonus albula* (L.) with evaluation of alternative models, additional variables, biases and errors // Evol. Freshwat. Fish. 2004. № 13. P. 46–60.
29. Viljanen M. Biology, propagation, exploitation and management of vendace (*Coregonus albula* L.) in Finland // Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 1986. № 22. P. 73–97.

Savosin D. S., Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

Ilmast N. V., Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

Sterligova O. P., Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

Savosin E. S., Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

Milyanchuk N. P., Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### THE PRESENT STATE OF VENDACE *COREGONUS ALBULA* POPULATION IN LAKE GIMOLSKOYE (WESTERN KARELIA)

Data on the species composition of the fish population of Lake Gimolskoe are provided. The basis of conducted experimental catches consisted of vendace, bream, pike, perch and roach. The largest population in the lake is presented by vendace (*Coregonus albula*), which by population indices is referred to a small ecological form. The biological parameters of vendace (length, mass, fecundity and feeding) were studied. The comparative analysis of the data shows an increase in the linearly-weight growth parameters of vendace in comparison with the data obtained during previous research. This is probably associated with good feeding conditions, limited anthropogenic impact, and the lack of industrial fishing. The current state of vendace population of Lake Gimolskoe can be considered safe. At present, the waters of the lake are used for recreational fishing only. The reservoir has a high number of vendace and it is the main subject of food for predatory fish species (pike, perch, burbot and pikeperch). Habitation of the only ecological form (small) of vendace makes it possible to use the fish for genetic and biochemical analysis. The obtained results supplement information on the current state of the populations of vendace in various water bodies of Karelia. The results of the studies are needed for the assessment of fish stocks and conservation of coregonid fishes in the region as a whole.

Key words: lake ecosystems, vendace, *Coregonus albula*, population parameters, ecological form, Lake Gimolskoe

\* The research was supported by the funds provided by the federal budget for the execution of the state assignment No 021-2017-0045, the Program of the Presidium of the Russian Academy of Sciences, project No 0221-2018-0002, RFBR project No 18-04-00163a.

## REFERENCES

1. Alimov A. F., Lenchenko V. F., Starobogatov Ya. I. Biodiversity, its protection and monitoring. *Biodiversity monitoring*. Moscow, 1997. P. 16–25. (In Russ.)
2. Alimov A. F., Orlova M. I., Panov V. E. Consequences of the introduction of alien species for aquatic ecosystems and the need for measures to prevent it. *Species-invaders in the European seas of Russia*. Apatity, 2000. P. 12–23. (In Russ.)
3. Alimov A. F., Bul'on V. V., Golubkov S. M. Dynamics of the structural and functional organization of ecosystems of continental reservoirs. *Fundamentals of management of biological resources. Collection of scientific articles*. Moscow, 2005. P. 241–253. (In Russ.)
4. Babij A. A., Sergeeva T. I. Large vendace – *Coregonus albula* on Lake Onega. *Issues of ichthyology*. 2003. Vol. 43. No 3. P. 345–351 (In Russ.)
5. Beljaeva K. I. Vendace *Coregonus albula* of Lake Topozero. *Proceedings of the Karelo-Finnish branch of VNIORH*. 1951. Vol. 3. P. 69–88. (In Russ.)
6. Dgebuadze Yu. Yu. The National Strategy, State, Trends, Research, Management and Priorities for Invasions of Alien Species on the Territory of Russia. *II Intern. simp. Invasion of alien species in the Holarctic*. Borok, 2003. P. 26–34. (In Russ.)
7. Djatlov M. A. Fishes of Lake Ladoga. Petrozavodsk, 2002. 281 p. (In Russ.)
8. Zikov P. V. Fishes of Gimolskoye Lake. *Proceedings of the Karelo-Finnish branch of the AS USSR*. 1951. No 3. P. 75–81. (In Russ.)
9. Ilmast N. V., Kitaev S. P., Kuchko Ja. A., Pavlovskij S. A. Hydroecology of different lakes of South Karelia. Petrozavodsk, 2008. 92 p. (In Russ.)
10. Ilmast N. V., Sterligova O. P., Kuchko Ja. A., Kuchko T. Ju., Savosin D. S., Pavlovskij S. A., Miljanichuk N. P. Features of hydrobiocenoses of lake Gimolskoye (Karelia). *Proc. 5th Int. Conf. in memory of G. G. Winberg*. St. Petersburg, 2015. P. 93–94. (In Russ.)
11. Kitaev S. P. Fundamentals of Limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk, 2007. 395 p. (In Russ.)
12. Kriksunov E. A., Bobyrev A. E., Burmenskiy V. A. Provision of resources and its role in the development of invasive processes. *General biology*. 2010. Vol. 71. No 5. P. 436–451. (In Russ.)
13. Lukin A. A., Pervozvanskiy V. Ja., Sharova Ju. N., Georgiev A. P. The ichthyofauna. *Lakes of Karelia. Reference*. Petrozavodsk, 2013. P. 56–57. (In Russ.)
14. Mina M. V. Tasks and methods of studying fish growth in natural conditions. *Current problems of ichthyology*. Moscow, 1981. P. 177–195. (In Russ.)
15. Pavlov D. S., Striganova B. R. Biological resources of Russia and the main directions of fundamental research. *Fundamental basics of biological resources management*. Moscow, 2005. P. 4–20. (In Russ.)
16. Pokrovskij V. V. Vendace in lakes of the Karelo-Finnish SSR. Petrozavodsk, 1953. 107 p. (In Russ.)
17. Potapova O. I. Large vendace *Coregonus albula* L. Leningrad, 1978. 133 p. (In Russ.)
18. Pravdin I. F. Manual on fish study. Moscow, 1966. 376 p. (In Russ.)
19. Reshetnikov Ju. S., Popova O. A., Sterligova O. P. and ets. Changes in the structure of fish populations in the reservoir eutrophication. Moscow, 1982. 248 p. (In Russ.)
20. Savosin D. S., Ilmast N. V., Sterligova O. P., Kuchko Ja. A., Miljanichuk N. P., Beljaev D. S. Population indicators of coregonid fishes of lake Gimolskoye (Karelia). *Bulletin of fisheries science*. 2016. Vol. 3. No 4. P. 35–45. (In Russ.)
21. Sterligova O. P. About kiletz *Coregonus albula* of lake Onega. *Of Salmon (Salmonidae) Karelia: Coll.* Issue 1. Petrozavodsk, 1972. P. 70–73. (In Russ.)
22. Sterligova O. P., Ilmast N. V., Kitaev S. P., Pervozvanskiy V. Ja. Biology of fishes of Lake Tulos. *Problems of salmonids in the European North: Coll.* Petrozavodsk, 1998. P. 171–179. (In Russ.)
23. Sterligova O. P., Pavlov V. N., Ilmast N. V., Pavlovskij S. A., Komulajnen S. F., Kuchko Ja. A. The ecosystem of Lake Syamozero (biological mode and use). Petrozavodsk, 2002. 119 p. (In Russ.)
24. Sterligova O. P., Ilmast N. V., Savosin D. S. Cyclostomes and fishes of fresh waters of Karelia. Petrozavodsk, 2016. 224 p. (In Russ.)
25. Chugunova N. I. Guide for the study of age and growth of fish. Moscow, 1959. 162 p. (In Russ.)
26. Ilmast N., Sterligova O. The results of the introduction of coregonid fishes into Vashozero, a lake in southern Karelia. *Ann. Zool. Fennici*. 2004. № 41. P. 191–194.
27. Lehtonen H. Biology and stock assessment of Coregonids by the Baltic coast of Finland. *Finnish Fishery Research*. 1981. № 3. P. 31–83.
28. Marjomäki T. J. Analysis of the spawning stock-recruitment relationship of vendace *Coregonus albula* (L.) with evaluation of alternative models, additional variables, biases and errors. *Evol. Freshwat. Fish*. 2004. № 13. P. 46–60.
29. Viljanen M. Biology, propagation, exploitation and management of vendace (*Coregonus albula* L.) in Finland. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 1986. № 22. P. 73–97.

Поступила в редакцию 21.12.2017

**ЕЛЕНА ИВАНОВНА ФИЛИМОНОВА**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории антропогенной динамики экосистем Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*Elena.Filimonova@urfu.ru*

**МАРГАРИТА АЛЕКСАНДРОВНА ГЛАЗЫРИНА**

кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории антропогенной динамики экосистем Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*Margarita.Glazyrina@urfu.ru*

**НАТАЛИЯ ВАЛЕНТИНОВНА ЛУКИНА**

кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории антропогенной динамики экосистем Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*natalia.lukina@urfu.ru*

**ГАЛИНА ГРИГОРЬЕВНА БОРИСОВА**

доктор географических наук, профессор кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*borisova59@mail.ru*

**НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА ЧУКИНА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*nady\_dicusar@mail.ru*

**МАРИЯ ГЕОРГИЕВНА МАЛЕВА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*maria.maleva@mail.ru*

**СВЕТЛАНА НИКОЛАЕВНА ГРОШЕВА**

бакалавр департамента наук о Земле и космосе Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*svetko\_a@mail.ru*

***EPIPACTIS PALUSTRIS* (L.) CRANTZ НА ЗОЛООТВАЛЕ НИЖНЕТУРИНСКОЙ ГРЭС  
И В ЕСТЕСТВЕННОМ МЕСТООБИТАНИИ\***

Целью данной работы являлось изучение пространственной и возрастной структур ценопопуляций, а также морфофизиологических параметров и микоризы корней *Epipactis palustris* (L.) Crantz, семейство Orchidaceae Juss. (дремлик болотный, сем. Орхидные), произрастающих на золоотвале Нижнетуринской государственной районной электростанции (г. Нижняя Тура, Свердловская область) и в естественном фитоценозе (прибрежная зона озера Багаряк, Сысертский район, Свердловская область). Установлено, что плотность ценопопуляций *E. palustris* колеблется в значительных пределах: на золоотвале – от 1 до 54 особей на м<sup>2</sup>, в контроле – от 5 до 73 особей на м<sup>2</sup>. Средняя плотность в 1,4 раза выше в ценопопуляции естественного растительного сообщества. Обе ценопопуляции являются нормальными полночленными. По критерию «дельта-омега» они относятся к молодым. Индекс восстановления был выше в естественной ценопопуляции. Морфологический анализ показал достоверные различия генеративных особей *E. palustris* из изученных популяций по высоте,

числу цветков и числу прицветников. Высота генеративных растений, произрастающих на золоотвале, в среднем в 1,2 раза меньше, но цветков они образуют в среднем в 1,9 раза больше, чем в естественном сообществе. По толщине листа и содержанию фотосинтетических пигментов достоверных различий между популяциями не выявлено.

Ключевые слова: *Epipactis palustris*, золоотвал, ценопопуляции, морфофизиологические параметры, микориза

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема сохранения и восстановления биологического разнообразия как основы устойчивости биогеоценозов является особенно актуальной для индустриально развитых регионов России, в том числе для Среднего Урала, где сосредоточены значительные площади нарушенных промышленностью земель. Восстановление растительности на подобных территориях происходит крайне медленно, видовой состав формирующихся растительных сообществ обеднен. Вместе с тем в отечественной и зарубежной литературе появляются сведения о поселении редких видов в техногенных местообитаниях в условиях сниженного фитоценотического стресса [2], [6], [12], [16], [18]. К таким растениям зачастую относятся и представители семейства Orchidaceae Juss. Оценка состояния популяций и выявление механизмов устойчивости редких видов Orchidaceae возможны лишь при комплексном изучении их биологических и экологических особенностей, структуры и динамики ценопопуляций, консортивных связей с другими компонентами биоценоза. Комплексный подход позволяет прогнозировать последующее развитие конкретных популяций и разрабатывать наиболее эффективные меры охраны каждого вида.

Целью работы являлось изучение пространственной и возрастной структур ценопопуляций, а также морфофизиологических параметров и микоризы корней особей *Epipactis palustris* (L.) Crantz, семейство Orchidaceae Juss. (дремлик болотный, сем. Орхидные), произрастающих на золоотвале Нижнетуринской государственной районной электростанции (НТГРЭС) и в естественном фитоценозе (около озера Багаряк, Сысертский район, Свердловская обл.) (контроль).

*E. palustris* внесен в Красные книги 49 регионов России, в том числе Республики Карелии, Архангельской области, Республики Коми, Ханты-Мансийского автономного округа, Тюменской, Курганской, Челябинской областей и др. [2], [5], [9]. В Свердловской области данный вид имеет статус уязвимого (II категория) [10].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

*E. palustris* (сем. Orchidaceae Juss.) – евразийский бореальный геофит, поликарпическое, многолетнее явноплицентрическое вегетивноподвижное длиннокорневищное летнезеленое травянистое растение [2], [17]. Вид характеризуется интенсивным вегетативным размножением путем ветвления корневища и обособления его частей (партикуляции), вследствие чего числен-

ность вида в местах произрастания обычно высока. Реже данный вид размножается семенами [11].

*E. palustris* – светлюбивое растение (2-я ступень шкалы Элленберга, 4–5-я ступени шкалы Ландольта) [19], [20]. Встречается на сырых почвах (8-я ступень шкалы Элленберга, 4–5-я ступени шкалы Ландольта). Растет на нейтральных и щелочных почвах (8-я ступень шкалы Элленберга, 4–5-я ступени шкалы Ландольта), кальцефил [3].

В естественных условиях предпочитает заболоченные редколесья, заболоченные и сырые луга, болота разных типов, в том числе низинных, расположенных на выходах известняков или гипсов [2], [6], [11]. К факторам, снижающим численность вида, относятся повышенная антропогенная нагрузка и осушение болот.

На территории Свердловской области ранее было известно всего 8 местообитаний *E. palustris*. В 2016 году нами обнаружено новое местообитание данного вида на золоотвале НТГРЭС.

Исследования проводили в июле 2017 года на Среднем Урале. Район исследований находится в умеренно-континентальной бореальной климатической зоне. Типично лесной район, где коренная растительность представлена лиственнично-сосновыми травяно-кустарничковыми лесами среднетаежного типа и сосновыми лесами с примесью *Larix sibirica* Ledeb. и с *Tilia cordata* Mill. в подлеске, травяными южнотаежного типа.

Золоотвал НТГРЭС расположен в 19 км от г. Нижняя Тура (Нижнетуринский городской округ, Свердловская обл.), на месте бывшего Вогульского болота и занимает около 440 га. Золоотвал заливался пульпой с 1992 года посекционно, работы на последнем участке завершены в 2015 году. После завершения работы каких-либо рекультивационных мероприятий на нем не проводилось.

Зола, складываемая в золоотвалы, является специфическим субстратом, обладающим рядом особенностей. По механическому составу она представлена фракциями песка и пыли с примесью измельченного шлака. Для золы характерна низкая влагоемкость, слабая теплопроводность, щелочная реакция среды, следовые количества или полное отсутствие азота, недостаточное содержание калия и в некоторых случаях – фосфора в доступной для растений форме. Содержание микроэлементов выше, чем в почве [4].

Значительная территория золоотвала обводнена и при небольшой глубине (менее 0,5 м) зарастает хвощово-рогозовыми сообществами с участием видов рода *Salix*. На свежих подсыхающих

переувлажненных участках формируются фитоценозы с доминированием *Marchantia polymorpha* L. и редким подростом *Salix* sp., со временем заменяющихся ивняками хвощово-вейниковыми зеленомошно-маршанциевыми.

На подсохших участках золоотвала наблюдаются разные стадии формирования лесной растительности. Заращение золоотвала осуществляется за счет заноса семян из окружающих его со всех сторон сосновых лесов и заболоченных территорий. Антропогенное влияние на процесс самозаращения минимально.

В качестве контроля изучена ценопопуляция *E. palustris* в естественном фитоценозе на территории гидрологического и зоологического памятника природы «Болото Багаряк», расположенного на северном заболоченном берегу озера Багаряк (дер. Космаково, Сысертский район, Свердловская обл.).

Сбор фактического материала выполнен по общепринятым методикам [1]. Обследование территории проводили детально-маршрутным методом. Для изучения пространственной и возрастной структур ценопопуляций *E. palustris* случайным образом закладывали по 60 учетных площадок ( $S = 0,25 \text{ м}^2$ ). Учитывали плотность особей вегетативного происхождения (рамет) *E. palustris*. Возрастные состояния *E. palustris* выделяли в соответствии с описанием онтогенеза М. Г. Вахрамеевой с соавторами [3].

Большая часть рамет *E. palustris* была обследована в природных условиях, меньшая – выкапывалась для анализа в камеральных условиях. Морфологический анализ особей проводился по следующим параметрам: высота особи (см), число листьев (шт.), длина листа (мм), ширина листа (мм). У генеративных особей кроме этого анализировали: длину цветоноса (см), длину соцветия (см), число цветков в соцветии (шт.), число прицветников (шт.), общую площадь листьев срединной формации ( $\text{см}^2$  на особь), среднюю площадь листа срединной формации второго типа ( $\text{см}^2$ ).

Были определены индексы возрастности ( $\Delta$ ) [15], эффективности ( $\omega$ ) [7] и восстановления ( $J_b$ ) ценопопуляций [8].

Для исследования характеристик фотосинтетического аппарата (толщина эпидермиса, мезофилла; содержание фотосинтетических пигментов) отбирали по 10 сформированных листьев с 10 генеративных особей данного вида из каждого местообитания.

Измерение толщины листа (эпидермиса и мезофилла) проводили в 30 повторностях при помощи системы Simagis Mesoplant (ООО «СИАМС», Россия) с использованием светового микроскопа Meiji MT 4300L («Meiji Techno», Япония).

Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) определяли спектрофотометрически согласно [21] на Jasco V-650 («Jasco Inc.», США) в ацетоновых экстрактах (80 %).

Содержание общего азота и фосфора в листьях *E. palustris* измеряли колориметрически после мокрого озоления растительного материала смесью кислот:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и  $\text{HClO}_4$ . Определение общего азота проводили с помощью реактива Несслера, а общего фосфора – с молибдатом аммония в кислой среде. Анализ проводили в трех биологических и трех аналитических повторностях.

Для изучения микоризы были отобраны корни 5 особей *E. palustris* в каждой ценопопуляции. Были приготовлены поперечные срезы корней, которые затем просматривали в поле зрения микроскопа при 100-кратном увеличении [13].

Собранный материал обработан стандартными методами математической статистики. Для обработки полученных данных использовали программные пакеты MS Office (Excel) и Statistica 6.0. Достоверность различий оценивали по критерию Манна – Уитни при уровне значимости  $p < 5 \%$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первая ценопопуляция *E. palustris* обнаружена в ивняке хвощово-вейниковом зеленомошно-маршанциевом, формирующемся на золоотвале НТГРЭС. В ценозе доминируют *Salix myrsinifolia* Salisb., *S. triandra* L., *S. pentandra* L., реже *S. phylicifolia* L. Общее проективное покрытие (ОПП) кустарникового яруса составляет 35–45 % (табл. 1). Высота ивняка в среднем достигает 0,7 м, варьируя от 0,5 до 0,8 м. На участке встречается подрост *Betula pubescens* Ehrh. (коэффициент встречаемости (КВ) = 62,5 %), *B. pendula* Roth (КВ = 52,5 %), *Populus tremula* L. (КВ = 20,0 %), *Pinus sylvestris* L. (КВ = 7,5 %) с высотой особей от 0,1 до 0,5 м. Распределение растений крайне неравномерное, ОПП травянистого яруса в среднем составляет 45 %, варьируя от 20 до 70 %. Наиболее равномерным распределением и высоким обилием характеризуются доминирующие виды: *Equisetum fluviatile* L. (КВ = 97,5 %,  $\text{cop}_3$ ), *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (КВ = 92,5 %,  $\text{cop}_3$ ), *Epipactis palustris* (КВ = 68 %,  $\text{cop}_1$ – $\text{cop}_2$ ), *Melilotus albus* Medik. (КВ = 47,5 %,  $\text{sp}$ – $\text{cop}_1$ ), группами встречаются *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. ( $\text{cop}_1$  gr), *Eriophorum polystachion* L. ( $\text{sp}$  gr), *Juncus articulatus* L. ( $\text{sp}$  gr), *Trifolium pratense* L. ( $\text{sp}$  gr), *Erigeron politus* Fries (sol– $\text{sp}$ ). На поверхности зольи повсеместно формируется комплексный зеленомошно-маршанциевый покров, образованный многолетними наслоениями отмерших и вегетирующих талломов *Marchantia polymorpha* (покрытие 60–65 %, КВ = 95 %) и мхов *Polia nutans* (Hedw.) Lindb., *Brium pallescens* Schleich. ex Schwaerg., *Bryoerythrophyllum recurvirostre* (Hedw.) Chen, *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst и др. Встречаются крупные пятна *Peltigera rufescens* (Weis.) Humb. Формируется органогенный торфяной горизонт мощностью от 2 до 5 см.

Таблица 1

Характеристики местообитаний *E. palustris*

Характеристики	Золоотвал НТГРЭС		Контроль	
	X <sub>ср.</sub>	lim	X <sub>ср.</sub>	lim
ОПП древесного яруса, %	–	–	25	20–30
ОПП кустарникового яруса, %	40	35–45	27	25–30
ПП древесно-кустарникового подроста, %	16	5–35	20	0–75
ОПП травянистого яруса, %	45	20–70	75	45–95
ОПП мохового яруса, %	65	25–100	70	45–100
Количество видов в сообществе, шт.	42	–	36	–
Видовое богатство шт. / 0,25 м <sup>2</sup>	7	4–10	5,4	3–9

Кроме *E. palustris* в растительном сообществе обнаружены другие редкие в Свердловской области виды сем. Orchidaceae: группы особей *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó (КВ = 12,5 %, sol gr) и *Malaxis monophyllos* (L.) Sw. (КВ = 5 %, un–sol).

Вторая ценопопуляция *E. palustris* (контроль) произрастает на образовавшейся на месте выходов известняковых жил прогалине, рассекающей заболоченный лес северного берега озера Багаряк. Растительность прогалины отличается по видовому составу и высоте деревьев от окружающего лесного массива. Высота древесного яруса составляет 2,0–4,0 м, сомкнутости нет, ОПП – 20–30 %. В древесном ярусе преобладают *Pinus sylvestris*, *Betula humilis* Schrank, *B. pubescens*, *B. pendula*, имеющие многочисленный подрост. В кустарниковом ярусе наиболее часто встречаются *Salix myrsinifolia*, *S. pentandra*, ОПП – 25–30 %.

В травянистом ярусе (ОПП 75 %) доминируют *Carex dioica* L. (КВ = 85 %, сор<sub>2</sub>), *C. panacea* L., *C. vesicaria* L. (КВ = 40 %, сор<sub>1</sub> gr), *Phragmites australis* (КВ – 82 %, сор<sub>2</sub>); *Galium palustris* L. (КВ = 24 %, sp), *Epilobium palustre* L. (КВ = 14 %, sol–sp), *Eriophorum polystachion* (sol gr); единично встречаются *Pyrola rotundifolia* L., *Angelica sylvestris* L., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Potentilla erecta* (L.) Raeusch., *Dactylorhiza incarnata* (sol gr), *Neottianthe cucullata* (L.) Schlechter (un). Повсеместно развит моховый покров, ОПП которого составляет 70 %.

*E. palustris* на исследуемом участке имеет высокое обилие (сор<sub>1</sub>–сор<sub>2</sub>) и встречаемость (КВ = 50 %).

Сравнение видового состава изученных растительных сообществ по коэффициенту общности Сьеренсена (Кс = 31 %) выявило их малое сходство. Анализ структуры экологических групп растений (по отношению к увлажнению) пока-

зал, что на участке золоотвала НТГРЭС преобладают виды переувлажненных местообитаний (гигрофиты и мезогигрофиты), их доля составляет 47,7 %, доля мезофитов – 45,2 %, ксеромезофитов – 7,1 %. В естественном местообитании (контроль) доля гигрофитов – 69,4 %, мезофитов – 30,6 %. Сравнение видового состава по структуре жизненных форм (по Раункиеру) показало, что и на золоотвале, и в естественном местообитании преобладают геофиты, гемикриптофиты и фанерофиты (33,3; 28,6; 26,2 и 38,9; 38,9; 16,6 соответственно), что также свидетельствует о формировании болотной растительности.

Таким образом, общим для исследованных местообитаний *E. palustris* является переувлаженность субстрата, развитие гигрофитной растительности, хорошо развитое моховое покрытие, щелочная реакция среды (рН = 7,3–7,4).

Исследования ценопопуляций *E. palustris* показали, что как на золоотвале НТГРЭС, так и в контроле они имеют групповой тип распределения особей в пространстве (отношение дисперсии к среднему числу особей на площадке составило соответственно 14,3 и 16,4).

Плотность ценопопуляций *E. palustris* колеблется в значительных пределах: на золоотвале – от 1 до 54 особей на м<sup>2</sup>, в контроле – от 5 до 73 особей на м<sup>2</sup>. Средняя плотность особей на золоотвале составляет 16,5 особи на м<sup>2</sup>, что в 1,4 раза ниже, чем в ценопопуляции естественного растительного сообщества (23,4 особи на м<sup>2</sup>) (табл. 2). Для сравнения плотность популяций *E. palustris*, произрастающих на урбанизированных территориях в черте г. Тверь, составляла 40,8–41,7 особи на м<sup>2</sup>, максимальная 54–76 особей на м<sup>2</sup> [12]. В природных популяциях данные по плотности весьма неоднозначны, варьируют от единичных особей до 100 особей на м<sup>2</sup> [17].

Таблица 2

Характеристика ценопопуляций *E. palustris*

Местонахождение	Плотность, особей/м <sup>2</sup>		Индексы ценопопуляций		
	lim	X <sub>ср.</sub> ± m <sub>x</sub>	Δ	ω	J <sub>в</sub>
Золоотвал НТГРЭС	1–54	16,5 ± 4,0	0,23	0,57	1,00
Контроль	5–73	23,4 ± 5,1	0,13	0,38	3,68

Примечание. Δ – индекс возрастности [15], ω – индекс эффективности [7], J<sub>в</sub> – индекс восстановления ценопопуляций [8].

При изучении возрастной структуры ценопопуляций *E. palustris*, произрастающих на исследуемых объектах, были выделены следующие возрастные состояния особей: ювенильные (j), имматурные (im), виргинильные (v) и генеративные (g). Генеративные особи представлены двумя возрастными состояниями: молодые ( $g_1$ ) и средневозрастные ( $g_2$ ) растения. В работе не учитывались ведущие подземный образ жизни проростки (протокорм).

Нами установлено, что все изученные ценопопуляции *E. palustris* являются нормальными полночленными. Возрастной спектр ценопопуляции данного вида с золоотвала НТГРЭС является двухвершинным, с пиком в имматурном и генеративном состояниях; контрольной ценопопуляции – одновершинным, с пиком в имматурном состоянии (рис. 1). По исследованиям И. В. Татаренко [14], базовый возрастной спектр *E. palustris* является левосторонним, в котором преобладают ювенильные и имматурные особи. Для данного вида свойственно омоложение за счет партикуляции, что наблюдается в естественном местообитании. Анализ индексов возрастности и эффективности показал, что ценопопуляции

*E. palustris* являются молодыми (см. табл. 2). Это подтверждается также индексом восстановления ценопопуляции ( $J_b$ ), представляющим собой отношение плотности подростка к плотности генеративных растений ( $J_b$  на золоотвале НТГРЭС – 1,0, а в контроле – 3,7) (см. табл. 2).

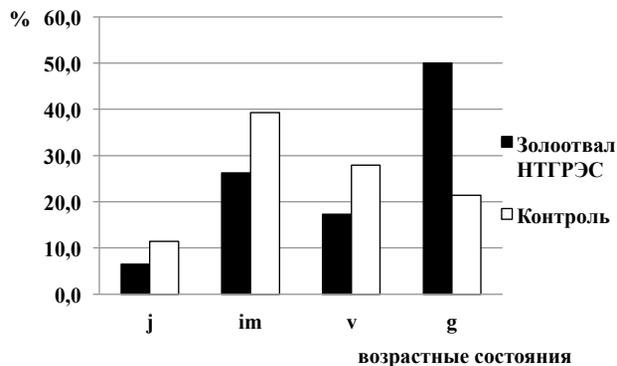


Рис. 1. Возрастные спектры ценопопуляций *E. palustris*

Морфологический анализ показал, что вегетативные особи изученных ценопопуляций достоверно не отличаются (табл. 3).

Таблица 3

Некоторые морфометрические показатели виргинильных особей *E. palustris*

Показатель	Местонахождение	$X_{cp} \pm m_x$	lim	$C_v, \%$
Высота особи, см	Золоотвал НТГРЭС	$21,9 \pm 0,7$	18,5–26,5	12
	Контроль	$21,1 \pm 0,9$	14,3–25,9	17
Общее число листьев, шт.	Золоотвал НТГРЭС	$9,9 \pm 0,2$	9–11	8
	Контроль	$9,2 \pm 0,3$	7–11	13
Число листьев срединной формации, шт.	Золоотвал НТГРЭС	$7,2 \pm 0,3$	6–8	13
	Контроль	$6,9 \pm 0,3$	5–9	17
Длина листьев срединной формации, см	Золоотвал НТГРЭС	$7,6 \pm 0,4$	0,7–13,3	47
	Контроль	$7,5 \pm 0,4$	0,3–13,8	54
Ширина листьев срединной формации, см	Золоотвал НТГРЭС	$1,5 \pm 0,1$	0,05–3,2	50
	Контроль	$1,4 \pm 0,1$	0,01–3,0	48

Выявлены достоверные различия генеративных особей *E. palustris* из нарушенного и естественного местообитаний по высоте, числу цветков и числу прицветников (табл. 4). Высота генеративных растений, произрастающих на золоотвале, в среднем в 1,2 раза меньше, чем в естественном сообществе. Вместе с тем число цветков они образуют в среднем в 1,9 раза больше, что может быть связано с лучшим обеспечением на золоотвале минеральными веществами.

Общая площадь листьев срединной формации в 1,2 раза больше на золоотвале.

Изучение анатомической структуры листа *E. palustris* показало, что у данного вида выражен гомогенный тип строения мезофилла, характерный для гигрофитов. Толщина листовой пластинки составляет в среднем 195 мкм (см. табл. 4).

Фототрофная ткань представлена губчатым мезофиллом, который состоит из 5–6 слоев клеток и в среднем составляет 70 % от толщины листовой пластинки. Эпидермис хорошо выражен. Достоверных различий между растениями исследованных популяций по толщине листовой пластинки, толщине мезофилла и эпидермиса не выявлено, что свидетельствует об одинаковых условиях освещенности и сходном гидрологическом режиме.

*E. palustris* относится к так называемым зеленым орхидеям, фотосинтезирующим в течение надземных стадий развития. Функционирование фотосинтетического аппарата растений определяется количеством фотосинтетических пигментов и их соотношением. По содержанию хлорофиллов и каротиноидов между растениями

Таблица 4

Морфометрические и анатомические показатели генеративных особей *E. palustris*

Показатель		Местонахождение	$X_{cp} \pm m_x$	lim	$C_v, \%$
Высота особи*, см		Золоотвал НТГРЭС	45,1 ± 2,5	27,5–56,2	19
		Контроль	54,2 ± 3,3	38,0–73,5	21
Общее число листьев, шт.		Золоотвал НТГРЭС	9,4 ± 0,2	8–11	8
		Контроль	8,8 ± 0,2	8–10	7
Число листьев срединной формации, шт.		Золоотвал НТГРЭС	6,4 ± 0,2	6–8	11
		Контроль	6,3 ± 0,2	5–7	10
Длина листьев срединной формации, см	1 типа*	Золоотвал НТГРЭС	2,3 ± 0,3	0,5–4,9	54
		Контроль	3,9 ± 0,5	1,2–7,8	54
	2 типа*	Золоотвал НТГРЭС	8,0 ± 0,5	3,5–11,5	33
		Контроль	10,2 ± 0,4	6,6–14,7	21
	3 типа	Золоотвал НТГРЭС	9,3 ± 0,3	5,6–11,6	19
		Контроль	8,8 ± 0,6	1,7–13,3	34
Ширина листьев срединной формации, см	1 типа	Золоотвал НТГРЭС	1,9 ± 0,3	0,8–3,2	48
		Контроль	2,2 ± 0,2	1,2–3,8	35
	2 типа*	Золоотвал НТГРЭС	3,5 ± 0,2	1,6–4,8	26
		Контроль	2,9 ± 0,1	1,9–3,8	18
	3 типа*	Золоотвал НТГРЭС	2,0 ± 0,1	0,6–3,5	37
		Контроль	1,6 ± 0,1	0,6–2,8	39
Длина цветоноса, см		Золоотвал НТГРЭС	8,8 ± 0,4	5,4–11,1	17
		Контроль	9,9 ± 1,0	4,2–16,5	34
Длина соцветия, см		Золоотвал НТГРЭС	12,1 ± 1,2	5,1–18,2	35
		Контроль	9,7 ± 1,2	4,1–15,7	42
Число цветков*, шт.		Золоотвал НТГРЭС	13,9 ± 1,6	4–24	41
		Контроль	7,4 ± 0,8	3–11	34
Число прицветников*, шт.		Золоотвал НТГРЭС	16,8 ± 1,5	11–27	30
		Контроль	9,3 ± 0,8	6–14	29
Длина прицветников, см		Золоотвал НТГРЭС	1,5 ± 0,1	0,2–6,0	66
		Контроль	1,5 ± 0,1	0,2–5,7	66
Ширина прицветников, см		Золоотвал НТГРЭС	0,4 ± 0,01	0,1–1,1	43
		Контроль	0,4 ± 0,02	0,1–0,9	40
Общая площадь листьев срединной формации, см <sup>2</sup> /особь		Золоотвал НТГРЭС	72,9 ± 10,0	21,3–115,0	43
		Контроль	62,6 ± 5,7	39,3–94,2	29
Средняя площадь листа срединной формации второго типа, см <sup>2</sup>		Золоотвал НТГРЭС	17,1 ± 1,3	4,6–26,1	38
		Контроль	13,8 ± 1,1	2,6–27,0	37
Толщина эпидермиса, мкм		Золоотвал НТГРЭС	55,1 ± 3,0	31,9–66,7	19,5
		Контроль	63,0 ± 3,7	42,5–85,0	21,1
Толщина мезофилла, мкм		Золоотвал НТГРЭС	145,2 ± 6,1	127,5–189,1	15,0
		Контроль	127,8 ± 3,1	106,3–148,8	8,7

Примечание. \* – различия между популяциями достоверны при  $p < 0,05$ .

*E. palustris* с золоотвала и естественного фитоценоза достоверных различий также не было выявлено (рис. 2).

При этом содержание хлорофилла *a* у *E. palustris* изученных популяций было в среднем в 2,5 раза выше по сравнению с хлорофиллом *b*,

что является характерным для наземных растений и гигрофитов с надводными листьями.

Важную роль при характеристике работы пигментного комплекса играет отношение хлорофиллов к каротиноидам. Это соотношение варьирует в широких пределах (2–7)

и определяется разными факторами, но чаще всего условиями освещения [22]. Известно, что это соотношение реагирует на изменение условий среды. Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам в листьях *E. palustris* как на золоотвале, так и в естественном местообитании было примерно одинаковым (в среднем 6,5), что еще раз свидетельствует о сходных условиях освещенности, водообеспечения и степени обеспеченности питательными веществами.

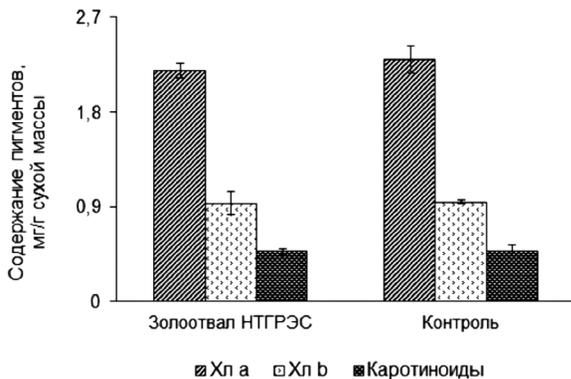


Рис. 2. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях генеративных особей *E. palustris*. Различия между популяциями недостоверны при  $p < 0,05$

Известно, что *E. palustris*, населяющий открытые местообитания, вступает в симбиоз с *Rhizoctonia*-подобными грибами.

По исследованиям М. Г. Вахрамеевой с соавторами [3], у *E. palustris* грибная инфекция корней очень слабая, но на бедных почвах и при низкой освещенности степень микотрофности возрастает. Интенсивное микоризообразование наблюдается также на очень сырых почвах с низким содержанием гумуса [24]. Нами в корнях *E. palustris* обнаружена орхидная микориза, представленная пелотонами, занимающая в ценопопуляции с золоотвала от 80 до 100 %, в контроле – от 70 до 100 % корней.

Экспериментально показано существенное влияние орхидной микоризы на фосфорное и особенно азотное питание растений [23].

Для *E. palustris* из изученных популяций было характерно повышенное содержание общего азота: в листьях растений с золоотвала оно составило 5,1 %, а в естественном местообитании – 4,0 % от сухой массы. По содержанию общего фосфора популяции достоверно не отличались (в среднем оно составило 0,3 % от сухой массы).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На Среднем Урале для *Epipactis palustris* (редкий вид) установлено новое местообитание в ивняке хвощово-вейниковом зеленомошно-маршанциевом, формирующемся в процессе самозарастания на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС.

Местообитания *E. palustris* на золоотвале и в естественном фитоценозе (в прибрежной зоне озера Багаряк) характеризуются переувлажненным субстратом, развитием гигрофитной растительности и щелочной реакцией среды.

Показано, что ценопопуляции *E. palustris* в растительном сообществе на золоотвале и в естественном фитоценозе имеют высокую плотность: от 1 до 54 и от 5 до 73 особей на м<sup>2</sup> соответственно. Средняя плотность особей в 1,4 раза выше в ценопопуляции в естественном растительном сообществе. Обе ценопопуляции являются нормальными полночленными. По критерию «дельта-омега» они относятся к молодым. Индекс восстановления выше в контрольной ценопопуляции. Морфологический анализ показал достоверные различия между генеративными особями *E. palustris* из изученных популяций по высоте, числу цветков и прицветников. Высота генеративных растений, произрастающих на золоотвале, в среднем в 1,2 раза меньше, но цветков они образуют в среднем в 1,9 раза больше, чем в естественном сообществе. Обильное цветение и плодоношение орхидей в антропогенных местообитаниях отмечается многими авторами [18].

В естественных местообитаниях росту и размножению орхидей часто препятствует развитие травянистого яруса и образование плотной дернины, ограничивающей газообмен между почвой и атмосферой. В нарушенных местообитаниях отсутствие задернения и хорошо развитой подстилки, а также слабая ценотическая конкуренция способствуют прорастанию семян орхидных.

Таким образом, нарушенные территории могут быть временными «убежищами» для сохранения генофонда многих видов сем. Orchidaceae.

Дальнейшее развитие ценопопуляции *E. palustris* на золоотвале зависит от особенностей трансформации фитоценоза, изменения гидрологического режима субстрата, а также от антропогенной деятельности на данном объекте.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания УрФУ № 6.7696.2017/БЧ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисова М. А., Маракаев О. А. Редкие виды растений: практика исследований в природе: Учеб.-метод. пособие. Ярославль: Яросл. гос. ун-т, 2015. 64 с.
2. Варлыгина Т. И., Вахрамеева М. Г., Татаренко И. В. Орхидные России (биология, экология и охрана). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 437 с.
3. Вахрамеева М. Г., Варлыгина Т. И., Баталов А. Е., Тимченко И. А., Богомолова Т. И. Род Дремлик // Биологическая флора Московской области. Вып. 13. М.: Полиэкс, 1997. С. 50–87.

4. Глазырина М. А., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Чукина Н. В., Борисова Г. Г., Перевозчикова Е. Н. *Fragaria vesca* L. на золоотвалах Среднего Урала // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 8 (169). С. 35–43.
5. Дьячкова Т. Ю., Кузнецов О. Л. Видовой состав сообществ с *Epipactis palustris* (L.) Crantz на болотах Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 8 (169). С. 49–53.
6. Ефимов П. Г. Орхидные северо-запада европейской России (Ленинградская, Псковская, Новгородская области). 2-е изд., испр. и доп. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 220 с.
7. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
8. Жукова Л. А., Полянская Т. А. О некоторых подходах к прогнозированию перспектив развития ценопопуляций растений // Вестник ТвГУ. 2013. Вып. 32. № 31. С. 160–171.
9. Красная книга Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2007. 368 с.
10. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / Отв. ред. Н. С. Корытин. Екатеринбург: Баско, 2008. 256 с.
11. Мамаев С. А., Князев М. С., Куликов П. В., Филиппов Е. Г. Орхидные Урала: систематика, биология, охрана. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 124 с.
12. Пушай Е. С., Разумова И. С. Изучение и оценка современного состояния популяций *Epipactis palustris* (L.) Crantz на территории г. Тверь // Вестник ТвГУ. Серия: Биология и экология. 2007. Вып. 4. № 8 (36). С. 106–109.
13. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.
14. Татаренко И. В. Орхидные России: жизненные формы, биология, вопросы охраны. М.: Аргус, 1996. 207 с.
15. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Научные доклады высшей школы. Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.
16. Филимонова Е. И., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Орхидные в техногенных системах Урала // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. Вып. 11. С. 68–75.
17. Чупракова Е. И., Савиных Н. П. Биоморфология *Epipactis palustris* (L.) Crantz с позиции охраны вида // Научные ведомости. Серия: Естественные науки. 2011. № 9 (104). Вып. 15/1. С. 23–28.
18. Adamowski W. Expansion of nativ Orchids in anthropogenous habitats Polish // Botanical Studies. 2006. Vol. 22. P. 35–44.
19. Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa // Scripta Geobotanics. Vol. 18. Göttingen: Verlag Erich Goltze KG, 1991. 248 s.
20. Llandolt E. Okologische Zeigerwerte zur Sweizer Flora // Veroff. Geobot. Zurich: Inst. ETH, 1977. H. 64. 208 s.
21. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes // Meth. Enzymol. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
22. Ronzhina D. A., Nekrasova G. F., P'yankov V. I. Comparative characterization of the pigment complex in emergent, floating, and submerged leaves of hydrophytes // Russian J. Plant Physiol. 2004. Vol. 51. No 1. P. 21–27.
23. Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal symbiosis (Third Edition). N. Y.: Academic Press, 2008. 787 p.
24. Summerhayes V. S. Wild orchids of Britain. London, 1951. 290 p.

**Filimonova E. I.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Glazyrina M. A.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Lukina N. V.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Borisova G. G.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Chukina N. V.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Maleva M. G.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Grosheva S. N.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

#### ***EPIPACTIS PALUSTRIS* (L.) CRANTZ OF NIZHNETURINSKAYA POWER STATION ASH DUMP AND NATURAL HABITATS**

The purpose of this research was to study the spatial and age structure of *E. palustris* coenopopulations. We also studied the morphophysiological parameters and mycorrhizal roots' association of *Epipactis palustris* (L.) Crantz, the family of Orchidaceae Juss., which grows on the ash dump of Nizhneturinskaya state district power station (Nizhnyaya Tura, Sverdlovsk region) and in the natural habitat (the coastal area of Bagaryak Lake, Sysertskii district, Sverdlovsk region). It is observed that the density of *E. palustris* coenopopulations varies considerably from 1 to 54 individuals per m<sup>2</sup> on the ash dump and from 5 to 73 individuals per m<sup>2</sup> in the control site. The average density was 1.4 times higher in natural habitats. Both coenopopulations were normal polynomials. They refer to the young population by the criterion of 'delta-omega'. The recovery index was higher in the natural coenopopulation. The morphological analysis showed significant differences in generative *E. palustris* from the studied sites in the height, the number of flowers and the number of bracts. The height of generative plants growing on the ash dump was on the average 1.2 times smaller. At the same time they formed an average of 1.9 times higher number of flowers than the ones growing in the natural habitat. Moreover, the leaf thickness and the content of photosynthetic pigments did not reveal any significant differences between the populations from both sites.

Key words: *Epipactis palustris*, ash dumps, coenopopulation, morphophysiological parameters, mycorrhiza

\* The research is conducted with the financial support from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within a framework of the state assignment. Project № 6.7696.2017.

#### REFERENCES

1. Borisova M. A., Marakayev O. A. Rare plant species: the practice of research in the field: the teaching method: Allowance. Yaroslavl, 2015. 64 p. (In Russ.)
2. Varlygina T. I., Vakhrameeva M. G., Tatarenko I. V. Orchids of Russia (biology, ecology and protection). Moscow, 2014. 437 p. (In Russ.)

3. Vakhrameeva M. G., Varlygina T. I., Batalov A. E., Timchyenko I. A., Bogomolova T. I. Genus *Epipactis*. *Biologicheskaya flora Moskovskoy oblasti*. Issue 13. Moscow, 1997. P. 50–87. (In Russ.)
4. Glazyrina M. A., Lukina N. V., Filimonova E. I., Chukina N. V., Borisova G. G., Perevozchikova E. N. *Fragaria vesca* L. on the ash Dumps of the Middle Urals. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2017. No 8 (169). P. 35–43. (In Russ.)
5. Dyachkova T. Yu., Kuznetsov O. L. Species composition of communities with *Epipactis palustris* (L.) Crantz in mires of Karelia. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2017. No 8 (169). P. 49–53. (In Russ.)
6. Efimov P. G. Orchids of North-West European Russia (in the limits of Leningrad, Pskov and Novgorod Regions). Moscow, 2012. 220 p. (In Russ.)
7. Zhivotovskiy L. A. Ontogenetic states, effective density, and classification of plant populations. *Russian Journal of Ecology*. 2001. No 1. P. 3–7. (In Russ.)
8. Zhukova L. A., Polyanskaya T. A. Some approaches to the prediction of development prospects of coenopopulations of plants. *Vestnik TvGU*. 2013. Issue 32. No 31. P. 160–171. (In Russ.)
9. The Red Book of the Republic of Karelia. Petrozavodsk, 2007. 368 p. (In Russ.)
10. The Red Book of Sverdlovsk Region: Animals, Plants, Mushrooms. Yekaterinburg, 2008. 256 p. (In Russ.)
11. Mamaev S. A., Knyazev M. S., Kulikov P. V., Filippov E. G. Orchids of Urals: taxonomy, biology, conservation. Ekaterinburg, 2004. 124 p. (In Russ.)
12. Pushaj E. S., Razumova I. S. The study and assessment of the current state of *Epipactis palustris* (L.) Crantz populations in the territory of Tver. *Vestnik TvGU. Ser: Biology and Ecology*. 2007. Issue 4. No 8 (36). P. 106–109. (In Russ.)
13. Selivanov I. A. Mycorrhiza as a form of links in the vegetation cover of the Soviet Union. Moscow, 1981. 232 p. (In Russ.)
14. Tatarenko I. V. The Orchids of Russia: life forms, biology, protection. Moscow, 1996. 207 p. (In Russ.)
15. Uranov A. A. The age range of cenopopulations as a function of time and energy wave processes. *Scient. reports of high school. Boil. Sciences*. 1975. No 2. P. 7–34. (In Russ.)
16. Filimonova E. I., Lukina N. V., Glazyrina M. A. Orchid in the technogenic systems of the Urals. *Ecosystems, their optimization and protection*. 2014. Issue 11. P. 68–75. (In Russ.)
17. Chuprakova E. I., Savinykh N. P. Biomorphology *Epipactis palustris* (L.) Crantz from the point of view of the protection of species. *Scientific bulletins. Ser. of Natural Sciences*. 2011. No 9 (104). Issue 15/1. P. 23–28. (In Russ.)
18. Adamowski W. Expansion of native Orchids in anthropogenous habitats Polish. *Botanical Studies*. 2006. Vol. 22. P. 35–44.
19. Ellenberg H., Weber H. E., Düll R., Wirth V., Werner W., Paulißen D. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica*. Vol. 18. Verlag Erich Goltze KG, Göttingen, 1991. 248 s.
20. Landolt E. Okologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. *Veroff. Geobot. Inst. ETH*. Zurich, 1977. H. 64. 208 s.
21. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Meth. Enzymol*. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
22. Ronzhina D. A., Nekrasova G. F., P'yankov V. I. Comparative characterization of the pigment complex in emergent, floating, and submerged leaves of hydrophytes. *Russian J. Plant Physiol*. 2004. Vol. 51. No 1. P. 21–27.
23. Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal symbiosis (Third Edition). N. Y., 2008. 787 p.
24. Summerhayes V. S. Wild orchids of Britain. London, 1951. 290 p.

Поступила в редакцию 05.02.2018

**ЕКАТЕРИНА НИКОЛАЕВНА ВАСИЛЬЕВА**

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и селекции айрширского скота, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (Санкт-Петербург, Российская Федерация)  
*tulinova\_59@mail.ru*

### **БИОЛОГИЧЕСКИЕ И СЕЛЕКЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ГЕНОТИПА ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АЙРШИРСКОЙ ПОРОДЫ СКОТА НА ОСНОВЕ ИХ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ\***

Рассматриваются проблемы генетической оценки и использования производителей в масштабах всей популяции айрширов РФ и отдельных регионов. Отмечен годовой фенотипический прогресс по величине удоя во всех российских айрширских стадах (+191 кг молока, при средней 6 554 кг молока с 4,08 % жира) и на племенных заводах (+161 кг молока и +0,08 % жира). Показана высокая конкурентоспособность айрширской породы, которая превосходит средние показатели всех других пород в РФ по удою на 309 кг молока и по жиру на 0,21 % (2016 год). Активно внедряется генетическая оценка производителей. За последние 5 лет ежегодно оценивалось от 48 до 73 быков, средняя племенная ценность (ПЦ) которых варьировала от +4 до +50 кг молока. Установлено, что эффективность, достоверность оценки и темпов повышения качества генотипов производителей зависят от многих факторов: количества дочерей, стад и регионов, в которых они проверяются; повторяемости результатов тестирования; генетической структуры маточного поголовья. На выборке из 220 быков показана возможность прогноза фактической ПЦ по родословной ( $r = +0,175$ ;  $P \leq 0,05$ ). Подтверждены данные об относительно низкой повторяемости результатов тестирования производителей. Только в единичных случаях получены достоверные коэффициенты ранговой корреляции оценок в разных стадах, что обусловлено недостаточной численностью проверяемых быков на ограниченном числе стад. Это создает трудности для выявления наиболее ценных быков, пригодных для использования на всей популяции айрширского скота РФ. Исследована и обоснована возможность повторного использования быков-улучшателей (+ варианты) в стадах при определенных селекционных ситуациях. Главным элементом модернизации системы оценки и создания парка конкурентоспособных отечественных производителей предложено внедрение одновременной аттестации и отбора проверяемых быков на всем поголовье активной части популяции айрширов.

Ключевые слова: генетическая оценка, айрширская порода, племенная ценность, молочная продуктивность, быки-производители

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Биологические факторы являются основой селекции сельскохозяйственных животных, в том числе молочного скота. На параметрах изменчивости, наследственности, взаимосвязи признаков базируются важнейшие элементы селекции – генетическая оценка и отбор животных, повышение качества генотипов, определение племенной ценности. Комбинирование разного рода информации по хозяйственно полезным признакам животных и их предков позволяет достичь максимально точного прогноза в оценке генотипа [6]. Успех племенной работы во многом зависит от уровня племенной ценности используемых быков-производителей [1], [7], [8]. В повышении продуктивности крупного рогатого скота быки-производители имеют большое значение, поскольку их генетическая оценка осуществляется более точно [4], [9]. В современной отечественной

системе оценки быков имеется много проблем, одна из которых – неоднозначность получаемых результатов тестирования одних и тех же производителей в разных стадах. Это обстоятельство было зафиксировано в ряде племенных стад Ленинградской области. Из-за относительно низкой повторяемости результатов оценки приходится фактически заново переоценивать всех быков в конкретных условиях хозяйства [2], [3].

Целью исследования является изучение влияния биологических и селекционных факторов на эффективность генетической оценки производителей и обоснование путей модернизации системы оценки и отбора быков в популяции айрширского скота.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Мониторинг племенных и продуктивных качеств животных отечественной популяции

айрширского скота (40,2 тыс. голов) проведен по данным «Ежегодника по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах РФ (2016)»<sup>1</sup>; «Каталога быков-производителей молочных и молочно-мясных пород, оцененных по качеству потомства в 2017 году (2017)»<sup>2</sup>.

Расчет коэффициента ранговой корреляции официальной и внутрстадной ПЦ быков проведен по методике «Спирмена» [5] с использованием электронных баз данных «Селэкс» 10 племенных хозяйств Ленинградской области и «Картотеки быков айрширской породы КРС» с результатами официальной оценки быков. Внутрстадная оценка и индекс прогноза племенной ценности по родословной рассчитаны по формуле:  $ИПЦ_{род} = 0,5 ПЦ_о + 0,25 ПЦ_{ом} + 0,125 ПЦ_{омм}$  [10]. Для расчетов использовали программы «СГС – ВНИИГРЖ».

## РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным бонитировки 2016 года, удой айрширских коров в среднем по РФ составил 6 554 кг молока жирностью 4,08 %, на племязаводах и в племрепродукторах – 7 336 кг, 4,11 %

и 6 319 кг, 4,14 % соответственно. По сравнению с 2015 годом величина удоя выросла на 191, 161 и 108 кг молока соответственно по категориям хозяйств при существенном увеличении жирности молока на 0,08 % на племязаводах (4,14 против 4,06 %). Айрширские животные превосходили средние показатели всех других пород в РФ на 309 кг молока и 0,21 % жира (2016 год). В айрширской породе насчитывается 40 племенных хозяйств, из них 17 с удоём коров более 7 000 кг молока, а в 6 стадах продуктивность превышает 8 000 кг.

По данным каталога ВНИИПлем, за последние 5 лет ежегодно оценивалось от 48 до 73 быков, средняя ПЦ которых составляла от +4 кг в 2016 году до +50 кг в 2015 году, а в 2017 году +35 кг молока по 64 тестируемым быкам. Различия в племенной ценности обусловлены в основном соотношением числа улучшателей и ухудшателей в конкретной популяции быков.

Наименьшее количество животных было оценено в Краснодарском крае – 2, наибольшее – в Ленинградской (24 гол.) и Вологодской (15 гол.) областях (табл. 1).

Таблица 1

Поголовье дочерей быков и ареал их проверки

Год оценки	Регион	Количество быков	Средняя ПЦ быков по удою	Количество			
				дочерей	на 1 быка		
					дочерей	регионов	хозяйств
2013	РФ	71	+5	14 689	207	1,6	5,9
2014	РФ	72	+5	15 055	209	1,5	6,1
2015	РФ	73	+50	8 945	123	1,4	4,8
2016	РФ	48	+4	4 371	91	1,3	4,4
2017	РФ	64	+35	9 930	155	1,4	5,9
В том числе в 2017 году по регионам							
	Карелия	6	+111	2 224	371	1,8	7,5
	Краснодарский край	2	-96	467	233	1,0	5,5
	Вологодская обл.	15	+46	1 638	109	1,3	5,1
	Ленинградская обл.	24	+25	3 825	159	1,4	8,5
	Московская обл.	6	-7	1 384	231	1,7	3,3
	Импортная сперма	11	-25	392	36	1,0	1,6

Достоверность оценки быков-производителей зависит от многих факторов, и в том числе от количества дочерей, хозяйств и регионов, в которых они проверяются. Так, в последние годы снизилось количество дочерей на одного проверенного производителя, но увеличилось число регионов и стад, где они проходили оценку. Среди регионов по среднему числу дочерей на одного быка в 2017 году лидирует Республика Карелия, а по числу стад – Ленинградская область.

В породе в 2016 году пробонитировано 59 быков-производителей, из которых наибольшее ко-

личество (19 голов) содержится на племпредприятиях (ПП) Вологодской области. На 01.01.2017 г. на ПП РФ насчитывается 39 молодых быков со средним возрастом 3,14 года, 16 из них отечественного происхождения.

Прогноз племенной ценности молодых быков-производителей можно осуществить с помощью индекса племенной ценности по родословной ( $ИПЦ_{род}$ ), который положительно и достоверно коррелирует с ПЦ быка по качеству потомства [8]. Так, при сравнении официальной племенной ценности по удою

220 быков-производителей и индекса ИПЦ<sub>РОД</sub> получен достоверный коэффициент ранговой корреляции +0,175 ( $P < 0,05$ ).

По расчетным данным, ИПЦ<sub>РОД</sub> в среднем по 39 молодым быкам по удою составил +143 кг,

в том числе по отечественным +182 кг молока, что характеризует целенаправленный подход к отбору будущих производителей [3].

В табл. 2 представлены лучшие молодые быки по индексу ИПЦ<sub>РОД</sub>.

Таблица 2

Лучшие быки-производители по прогнозу ПЦ по удою по родословной

Кличка и № быка	Племпредприятие	ИПЦ <sub>РОД</sub> по:		
		удою, кг	жиру, %	белку, %
2483 Джеффер*	ОАО «ПП «Вологодское»»	+699	-0,05	+0,01
484 Дерек*	ОАО «ПП «Череповецкое»»	+594	-0,02	+0,02
47645 Монро	ОАО «ПП «Череповецкое»»	+459	-0,08	-0,03
118091545 Маттео	ОАО «Краснодарское»	+384	-0,02	-0,04
1205 Вильям*	ОАО «ПП «Вологодское»»	+354	-0,02	
118943114 Моккула	ОАО «Краснодарское»	+342	-0,06	-0,03
47644 Восход	ОАО «ГЦВ»»	+337	-0,06	-0,01
483 Барьер*	ОАО «ПП «Карельское»»	+327	+0,01	-0,03
3904 Доллар	ОАО «Невское»	+322	0,00	-0,01
8842 Дункан	ОАО «Невское»	+308	-0,05	-0,04

Примечание. \* – быки отечественной селекции.

Ленинградская область имеет одну из самых многочисленных популяций айрширского скота в РФ, где числится 9 племенных заводов и 4 плем-репродуктора. На племенных заводах от 7 555 коров получено в среднем по 7 532 кг молока с 4,06 %

жира и 3,31 % – белка, а от первотелок – 7 295 кг, 4,09 % и 3,34 % соответственно. Среди племзаводов лидирует СПК «Дальняя Поляна» Ленинградской области, где от 500 коров надоено по 8 552 кг молока жирностью 3,96 %, белковостью 3,31 % (табл. 3).

Таблица 3

Продуктивность коров в племзаводах Ленинградской области (в среднем по стаду)

Хозяйство	Количество коров	Удой, кг	Жир, %	Белок, %	Живая масса, кг
СПК «Дальняя Поляна»	442	8552	3,96	3,31	522
ОАО ПЗ «Новоладожский»	941	7864	4,20	3,47	630
ЗАО «Алексино»	561	7809	3,98	3,26	500
ЗАО «Волховское»	806	7802	4,10	3,36	529
ЗАО «Заречье»	889	7506	3,82	3,25	546
СПК «Будогощь»	587	7406	4,05	3,11	508
ЗАО «Культура-Агро»	547	7157	4,34	3,48	507
ЗАО «Березовское»	355	6935	3,90	3,27	498
ОАО ПЗ «Мыслинский»	811	6765	4,09	3,23	507

На этом фоне была проведена внутростадная оценка быков, используемых в 10 племенных хозяйствах Ленинградской области. Результаты внутростадной оценки одних и тех же быков в конкретном стаде были сопоставлены с официальной, а также внутростадная в одном хозяйстве с внутростадной в другом. Совпадаемость оценок определяли путем расчета коэффициентов ранговой корреляции в 5 разных вариантах сортировки массива: в среднем по всей выборке; по 10 одним и тем же быкам, использовавшимся в 7 стадах;

по 12 одним и тем же быкам, имеющим дочерей в 7 других стадах; по быкам-улучшателям и ухудшателям согласно официальной оценке.

В табл. 4 показано, что в 6 стадах из 10 по всей выборке массива данных достоверно подтверждена совпадаемость результатов официальной оценки быков с внутростадной – от 0,474 в «Новоладожском» до 0,318 в «Культуре-Агро». По другим условиям вышеперечисленных выборок в отдельных стадах она была еще выше: в «Новоладожском» – 0,758 и 0,769; «Заречье» – 0,626 и «Мыслинском» – 0,839.

Таблица 4

Повторяемость между официальными и внутривосходными оценками быков-производителей, используемых на маточном поголовье племенных хозяйств Ленинградской области

Хозяйства	Ранговая корреляция официальной оценки быков с внутривосходной по вариантам сортировки									
	по всей выборке		10 одних и тех же быков		12 одних и тех же быков		быки с ПЦ > +200 кг		быки с ПЦ < -200 кг	
	n	r	n	r	n	r	n	r	n	r
АО «ПЗ «Новолодожский»»	29	0,474*	10	0,758*			12	0,769*	13	-0,324
СПК «Дальняя Поляна»	25	0,408*	10		12	0,545	8	0,500	10	-0,212
ЗАО «Заречье»	38	0,400*	10	0,297	12	0,285	14	-0,375	13	0,626*
СПК «Будогощь»	24	0,333	10				9	0,471	8	0,657
ЗАО «Волховское»	44	0,353*	10	0,261	12	0,559	14	0,282	17	0,091
АО «Алексино»	40	0,078	10	0,309	12	0,266	13	0,411	16	-0,371
ЗАО «Березовское»	19	0,256	10				5	-0,600	9	0,217
АО «Культура-Агро»	33	0,318*	10	0,248	12	0,406	13	0,141	12	0,322
ОАО ПЗ «Мыслинский»	39	0,357*	10	0,491	12	0,839*	12	0,337	18	0,340
СПК «Осничевский»	37	0,197	10	-0,161	12	0,371	14	0,105	12	0,028

Примечание. \* – P = 0,05.

Далее была изучена достоверность повторяемости оценки внутривосходной с таковой же по всей выборке, которая подтвердилась в 10 парах хозяйств из 45. Так, высокие и достоверные коэффициенты повторяемости этих оценок отмечены в парах «Новолодожский» с 5 хозяйствами (r от +0,554 до +0,709), «Будогощь» – с 4 (r от +0,518 до +0,600), а также «Мыслинский» и «Волховское» (r +0,661). В 7 хозяйствах, где одновременно использовались 10 и 12 быков, ранговая корреляция их внутривосходных оценок в основном невысокая и недостоверная за исключением двух пар сравнения: «Культура-Агро» – «Новолодожский» (r +0,685), «Осничевский» – «Мыслинский» (r +0,633). Среди быков-улучшателей достоверные коэффициенты повторяемости внутривосходной оценки с таковой получены в следующих комбинациях стад: «Новолодожский» – «Волховское» (r +0,886), «Культура-Агро» – «Заречье» (r +0,627), а среди ухудшателей – «Мыслинский» – «Волховское» (r +0,696). Из приведенных данных видно, что только в единичных случаях получены достоверные ранговые коэффициенты корреляции

внутривосходных оценок быков-производителей. Этот факт можно объяснить как недостаточной численностью проверяемых быков на ограниченном числе стад, так и влиянием генетической структуры маточного поголовья сравниваемых хозяйств.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сопоставления официальной оценки с внутривосходной была выявлена возможность получения положительного эффекта при повторном использовании быков-улучшателей. Показано, что в 7 хозяйствах одновременно использовалось не более 10–12 быков. Установлено, что проверка быков на ограниченном количестве хозяйств не дает точного прогноза по их использованию на всей популяции айрширского скота, о чем свидетельствуют полученные коэффициенты ранговой корреляции. Таким образом, главной задачей по модернизации системы оценки отечественных быков является внедрение одновременной оценки проверяемых быков на всем поголовье активной части популяции айрширского скота.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства научных организаций (государственное задание № АААА-А18-118021590134-3).

#### ПРИМЕЧАНИЯ

- <sup>1</sup> Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2015, 2016 год). М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем, 2016, 2017. 270 с.
- <sup>2</sup> Каталог быков-производителей молочных и молочно-мясных пород, оцененных по качеству потомства в 2013–2017 гг. М.: Изд-во ФГБНУ ВНИИплем, 2013–2017. 74 с.
- <sup>3</sup> Каталог быков-производителей айрширской породы новой генерации. СПб.: ФГБНУ ВНИИГРЖ, 2017. 120 с.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болгов А. Е., Петрачкова И. Н. Республика Карелия – племенная база айрширской породы // Генетика и разведение животных. 2017. № 2. С. 92–96.

2. Васильева О. К. Результаты оценки быков-производителей по качеству потомства в стадах с разным уровнем продуктивности // Научное обеспечение инновационного развития АПК в условиях реформирования: Сб. науч. трудов по материалам междунар. научно-практ. конф. профессорско-преподавательского состава. СПб., 2014. Ч. 1. С. 141–143.
3. Кузнецов В. М. Основы научных исследований в животноводстве. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 568 с.
4. Логинова Т. П., Басонов О. А. Продуктивность черно-пестрых коров различной селекции // Зоотехния. 2005. № 7. С. 18–20.
5. Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1993. 424 с.
6. Сермягин А. А., Ермилов А. Н., Янчуков И. Н., Харитонов С. Н., Племяшов К. В., Тюренкова Е. Н., Стрекозов Н. И., Зиновьева Н. А. Региональная система геномной оценки как базовый элемент национальной программы генетического совершенствования крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. 2017. № 7. С. 3–7.
7. Тулинова О. В., Петрова А. В., Соловей Г. П. Использование айрширских производителей разного происхождения // Молочное и мясное скотоводство. 2015. № 5. С. 30–34.
8. Тулинова О. В., Васильева Е. Н. Современное состояние и перспективы совершенствования молочного скота айрширской породы Российской Федерации // Генетика и разведение животных. 2017. № 2. С. 3–16.
9. Харитонов С., Бакай А., Виноградов В. Оценка быков-производителей по качеству потомства – главный вопрос в селекции молочного скота // Молочное и мясное скотоводство. 2005. № 1. С. 15–16.
10. German Holstein test program // German Holstein news. 2004. June. № 7. P. 2–6.

Vasilieva E. N., Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center of Livestock – AUIAB Academician L. K. Ernst” (St. Petersburg, Russian Federation)

### BIOLOGICAL AND SELECTION FACTORS OF INCREASING THE QUALITY OF THE GENOTYPE BASED ON THE GENETIC ASSESSMENT OF AYRSHIRE BULLS

The article deals with the problem of genetic evaluation of Ayrshire population and its breeders' usage on the territory of the Russian Federation and separate regions. The annual phenotypic progress in the milk yield in all Russian Ayrshire herds (+191 kg of milk, with an average of 6 554 kg of milk with 4,08 % fat) and in breeding farms (+161 kg of milk and +0,08 % of fat) was noted. High competitiveness of the breed was proven. By the average index the Ayrshire breed surpassed other breeds by 309 kg of milk and by 0,21 % of fat. The genetic evaluation of producers is actively introduced. During the last 5 years, from 48 to 73 bulls were annually evaluated; their average breeding value (BV) ranged from +4 to +50 kg of milk. The effectiveness of evaluation and the rate of improvement in the quality of producers' genotypes depend on many factors – the number of daughters, types of herds and regions in which they are tested. It also depends upon repeatability of test results and genetic structure of the breeding stock. The prognosis of the actual BV according to the pedigree is shown on the example of 220 bulls ( $r = +0,175$ ;  $P \leq 0,05$ ). The study revealed low repeatability of testing results in sires. Only single cases revealed reliable coefficients of rank correlations of estimates in different herds. These results are conditioned by the small number of bulls in the limited number of herds. Therefore; the identification of the most valuable bulls becomes problematic. The possibility of reusing bulls-improvers (+ variants) in herds is studied. The introduction of simultaneous attestation and selection of bulls for the livestock of the Ayrshire breed is suggested.

Key words: genetic evaluation, Ayrshire breed, breeding value, milk yield, sire

\* The work was carried out with the financial support of the Federal Agency of Scientific Organizations, state assignment № AAAA-A18-118021590134-3.

#### REFERENCES

1. Bolgov A. E., Petrachkova I. N. Republic of Karelia – breeding base of Ayrshire breed. *Genetics and breeding of animals*. 2017. No 2. P. 92–96. (In Russ.)
2. Vasilieva O. K. Results of the assessment of bulls-producers on the quality of offspring in herds with different levels of productivity. *Nauchnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK v usloviyakh reformirovaniya: Sb. nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava*. St. Petersburg, 2014. P. 141–143. (In Russ.)
3. Kuznetsov V. M. Bases of scientific research in cattle breeding. Kirov, 2006. 568 p. (In Russ.)
4. Loginova T. P., Basonov O. A. Productivity of Black-and-White cows of different selection. *Zootechny*. 2005. No 7. P. 18–20. (In Russ.)
5. Merkur'eva E. K. Biometrics in breeding and genetics of farm animals. Moscow, 1993. 424 p. (In Russ.)
6. Sermyagin A. A., Ermilov A. N., Yanchukov I. N., Haritonov S. N., Plemyashov K. V., Tyurenkova E. N., Strekozov N. I., Zinov'eva N. A. Elaboratoin of regional system for genomic evaluation as the base element of national cattle breeding program in Russia. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2017. No 7. P. 3–7. (In Russ.)
7. Tulina O. V., Petrova A. V., Solovey G. P. Use of Ayrshire breeders of various origin. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2015. No 5. P. 30–34. (In Russ.)
8. Tulina O. V., Vasilieva E. N. Current status and prospects for improving the dairy Ayrshire cattle in the Russian Federation. *Genetics and breeding of animals*. 2017. No 2. P. 3–16. (In Russ.)
9. Haritonov S., Bakaj A., Vinogradov V. Assessment of sires on the quality of offspring – the main issue in the selection of dairy cattle. *Dairy and Beef Cattle Farming*. 2005. No 1. P. 15–16. (In Russ.)
10. German Holstein test program. *German Holstein news*. 2004. June. No 7. P. 2–6.

Поступила в редакцию 01.02.2018

**МУСТАФА СУЛЕЙМАН ЛИМАН**

аспирант кафедры ихтиологии и рыбоводства, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (Горки, Республика Беларусь)  
*mustafasulaimanliman@yahoo.com*

**НИКОЛАЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ БАРУЛИН**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой ихтиологии и рыбоводства, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (Горки, Республика Беларусь)  
*barulin@list.ru*

## ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ЭМБРИОНЫ И ЛИЧИНКИ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ

В технологиях воспроизводства и выращивания ценных видов рыб традиционно наиболее сложным является этап получения рыбопосадочного материала. В период инкубации икры в условиях аквакультурных комплексов необходимо проводить коррекцию эмбрионального развития с использованием различных факторов воздействия на организм. Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение. Цель наших исследований заключалась в установлении наиболее оптимальных режимов кратности воздействия низкоинтенсивным оптическим излучением и влияния оптимального режима на рыбоводно-биологические показатели личинок и мальков радужной форели. В результате исследований установлено, что низкоинтенсивное оптическое излучение (красная область спектра,  $\lambda = 630$  нм) в течение пяти дней по 20 минут в день при плотности мощности оптического излучения  $3,0$  мВт/см<sup>2</sup> способно оказывать стимулирующее влияние на размерно-весовые показатели рыбопосадочного материала радужной форели. Молодь опытной группы характеризовалась более высокими значениями жизнестойкости и физиологической адаптивности к изменяющимся параметрам среды, выживаемости. Гематологические и биохимические параметры крови находились в пределах физиологической нормы.

Ключевые слова: лазерное и оптическое излучение, аквакультура, инкубационный цех, икра, радужная форель, лососевые

### ВВЕДЕНИЕ

Величина потребления рыбы и продуктов ее переработки является существенным показателем при оценке уровня и качества жизни населения [3], [4]. Аквакультура, как подотрасль сельского хозяйства, обеспечивает культивирование рыб, других водных животных и растений в контролируемых человеком условиях и является надежным источником увеличения объема производства рыбы, особенно в условиях сокращения уловов океанической рыбы и сокращения рыбных запасов внутренних водоемов [1]. Подпрограммой развития рыбохозяйственной деятельности в рамках госпрограммы развития аграрного бизнеса Беларуси на 2016–2020 годы запланировано увеличение производства рыбной продукции. Однако дальнейший рост рыбного хозяйства и аквакультуры невозможен без внедрения новых технологических направлений, в том числе и без освоения технологий замкнутого водоснабжения (УЗВ) на базе рыбоводных промышленных комплексов [1], [16].

На основании многолетних исследований для реализации задач по созданию эффективной технологии выращивания высококачественного рыбопосадочного материала ценных видов

рыб в промышленных рыбокомплексах нами были обоснованы новые подходы в целях обеспечения стимулирующего действия лазерного и оптического излучения низкой интенсивности на рыбоводно-биологические показатели малька осетровых и лососевых рыб и половые продукты производителей этих рыб [2], [11]. По результатам проведенных исследований нами был создан новый типоряд лазерно-оптических приборов на основе полупроводниковых лазеров и светодиодов для использования их в инкубации икры осетровых и лососевых рыб.

В настоящее время развитие форелеводства и осетроводства актуально для Беларуси. Однако в технологии воспроизводства и выращивания этих видов рыб традиционно наиболее сложным является этап получения рыбопосадочного материала. Интенсификация промышленного производства является одним из существенных стрессовых факторов для эмбрионов рыб и личинок рыб, а также производителей [14]. В результате чего наблюдаются снижение общих физиологических показателей, повышение гибели, снижение жизнестойкости, увеличение морфологических аномалий [12]. Поэтому в период инкубации икры в условиях аквакультурных комплексов необходимо проводить коррекцию эмбрионального

развития с использованием различных факторов воздействия на организм. Одним из таких факторов является низкоинтенсивное оптическое излучение. Данное излучение показало свою эффективность при использовании в медицине, ветеринарии и сельском хозяйстве. Как установили наши многолетние исследования, низкоинтенсивное оптическое излучения имеет стимулирующий эффект при воздействии на икру и сперму осетровых рыб, а также на науплии жаброногих рачков [2], [7], [11]. Однако предыдущие исследования основывались на однократном воздействии оптического излучения на биообъекты, потому что частота воздействия излучением ограничивалась технологией выращивания биообъекта.

Представляют научно-практический интерес наиболее стимулирующие режимы кратности воздействия низкоинтенсивным оптическим излучением на объекты рыбоводства, технология выращивания которых это допускает.

Цель наших исследований заключалась в установлении наиболее оптимальных режимов кратности воздействия низкоинтенсивным оптическим излучением и влияния оптимального режима на рыбоводно-биологические показатели личинок и мальков радужной форели.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведение исследований осуществлялось на базе рыбоводного индустриального комплекса Белорусской государственной сельскохозяйственной академии (БГСХА).

В исследованиях использовали однополые эмбрионы (самки) радужной форели на стадии глазка, которые закупаются в рыбопитомнике Viviers de Sarrance (Франция). Для транспортировки эмбрионов использовали термопластиковую тару со льдом. Транспортировка осуществлялась самолетом.

После транспортировки эмбрионы проходили адаптацию в инкубационном цехе рыбокомплекса БГСХА, который работает по принципу УЗВ и включает в себя емкости для доинкубации, механическую и биологическую фильтрацию, оксигенацию и обеззараживание воды УФ-облучением.

Эмбрионы подвергались воздействию оптическим излучением (опытные группы) в течение 1–5 дней по 1–30 минут в день, при плотности мощности 3,0 мВт/см<sup>2</sup>, или не подвергались воздействию, но находились в идентичных условиях (контрольная группа). Источником оптического излучения являлась матрица светодиодных источников (LED) оптического прибора «Стронга» (красная область спектра  $\lambda = 630 \pm 10$  нм), который был разработан кафедрой ихтиологии и рыбоводства БГСХА совместно с Институтом физики Национальной академии наук Беларуси.

В период проведения исследования регистрировали выживаемость, жизнестойкость, размерно-весовые показатели, гематологические

и биохимические показатели личинок и мальков радужной форели.

Регистрацию размерных показателей осуществляли на цифровую камеру Cyber-Shot DSC-P200 с дальнейшей обработкой результатов с использованием программы ImageJ.

Для приготовления мазков отбор крови проводили прижизненно из хвостовой вены, с соблюдением ветеринарно-санитарных правил и принципов гуманного отношения к животным. Отбор материала и работа с ним проводились в спецодежде, одноразовых перчатках. Сгустки крови перед утилизацией в общую канализационную сеть обезвреживали только с применением дезинфицирующих растворов (в соответствии с действующими инструкциями по обеззараживанию). Готовые мазки крови после обработки упаковывались на хранение. Для приготовления мазков крови применялись чистые обезжиренные предметные и шлифованные стекла. Отработанные шприцы перед утилизацией подвергались дезинфекции. Дезинфекционная обработка оборудования (центрифуги, микроскопы, холодильники и др.) проводилась раствором 70 %-ного спирта. После каждого контакта с биологическим материалом тщательно мыли руки, а использованные одноразовые перчатки утилизировали. Кровь отбирали в утреннее время, до кормления. Процесс отбора крови был максимально безболезненным и быстрым. Процесс взятия крови не превышал 30 сек. После отбора из крови готовился мазок. После приготовления мазки крови высушивались в воздушном потоке в течение 5–10 минут. После высушивания подвергались окрашиванию по методу Романовского – Май Грюнвальда. Окрашивание проводилось с применением красителей. После окраски окрашенные мазки подвергались анализу путем прямого микроскопирования с применением микроскопа с иммерсионной системой «BioScope».

Для биохимических исследований отбирали венозную кровь. Полученный материал сразу же закрывали пробками, не допуская контакта с внешней средой. Для получения сыворотки крови антикоагулянт не добавляли. Сыворотку крови получали после свертывания крови при температуре +18–20 °С с последующим охлаждением при температуре +4 °С и центрифугированием в течение 15 минут при 3 000 об./мин на лабораторной центрифуге.

В полученной сыворотке крови определялась активность  $\alpha$ -гидроксибутиратдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, лактатдегидрогеназы, аспаратаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы, концентрация магния, мочевины, триглицеридов, кальция, альбумина, неорганического фосфора, полного белка, полного холестерина, глюкозы. В наших исследованиях мы использовали реактивы фирмы Cormay (LiquickCor-CK). В качестве методики

биохимических исследований использовали прилагаемые инструкции, которые основаны на рекомендациях Международной федерации клинической химии (IFCC). Исследования проводили на свежей сыворотке без следов гемолита.

Определение жизнестойкости осуществляли при использовании методов функциональных нагрузок: терморезистентности, нейрофармакологического тестирования, а также при использовании оценки фоновых реакций пигментных клеток. Регистрацию реакции пигментных клеток осуществляли при использовании программы FishGui на базе MATLAB [20].

Для статистической обработки результатов использовали программную среду R, включая пакеты R Commander, MASS, ggplot2, mgcv, corrplot [17], [19], [21], [22], [23], [24]. Статистическую достоверность различий оценивали по тесту Тьюки при условии соблюдения нормальности распределения данных (оценивалось тестом Шапиро – Уилка) и однородности групповых дисперсий (оценивалось тестом Ливина). При несоблюдении указанных условий использовали непараметрический тест Ньюмена – Кейлса.

Для построения нелинейных моделей регрессии применяли пакет drc программной среды R. В настоящей работе использовали 13 следующих моделей: логнормальная модель (пробит) с четырьмя параметрами, log-логистическая модель с четырьмя параметрами, log-логистическая модель с тремя параметрами, log-логистическая модель с двумя параметрами, модель Weibull – 1, модель Weibull – 2, логистическая модель с четырьмя параметрами, модель Gompertz с четырьмя параметрами, экспоненциальная модель с тремя параметрами, экспоненциальная модель с двумя параметрами, модель Michaelis-Menten с тремя параметрами, модель Brain-Cousens с пятью параметрами, модель Cedergreen-Ritz-Streibig с четырьмя параметрами [18], [19].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты наших исследований установили, что низкоинтенсивное оптическое излучение способно оказывать влияние на рост и развитие личинок и мальков радужной форели.

Проведенные исследования в условиях *in vivo* показали, что параметры выживаемости (время начала первого выклева и массового выклева предличинок, средняя выживаемость, период продолжительности максимальной выживаемости, индивидуальное время жизни и др.), а также размерно-весовые показатели личинок радужной форели зависели от дозировки оптического излучения: периодичности и времени воздействия.

Начиная с третьего периода (дня воздействия) оптическое излучение низкой интенсивности оказывало стимулирующий эффект на вышеперечисленные показатели личинок и молоди радуж-

ной форели. При этом наиболее высокий стимулирующий эффект оказало воздействие в течение 5 дней при времени воздействия 10–20 минут (в зависимости от контролируемого параметра). Пример изменения стимулирующего эффекта оптического излучения низкой интенсивности на индивидуальное время жизни личинок радужной форели в зависимости от периодичности воздействия (1–5 дней) и времени воздействия (0–30 мин.) представлен на рис. 1.

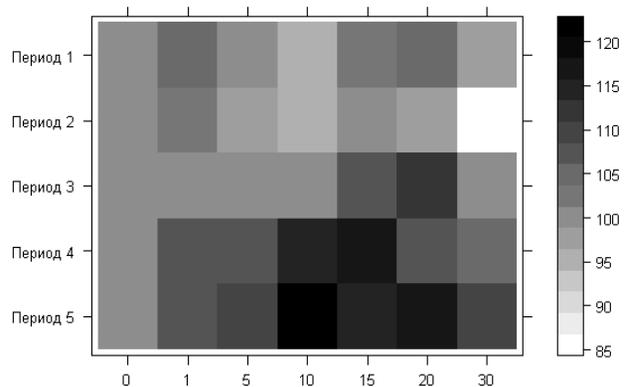


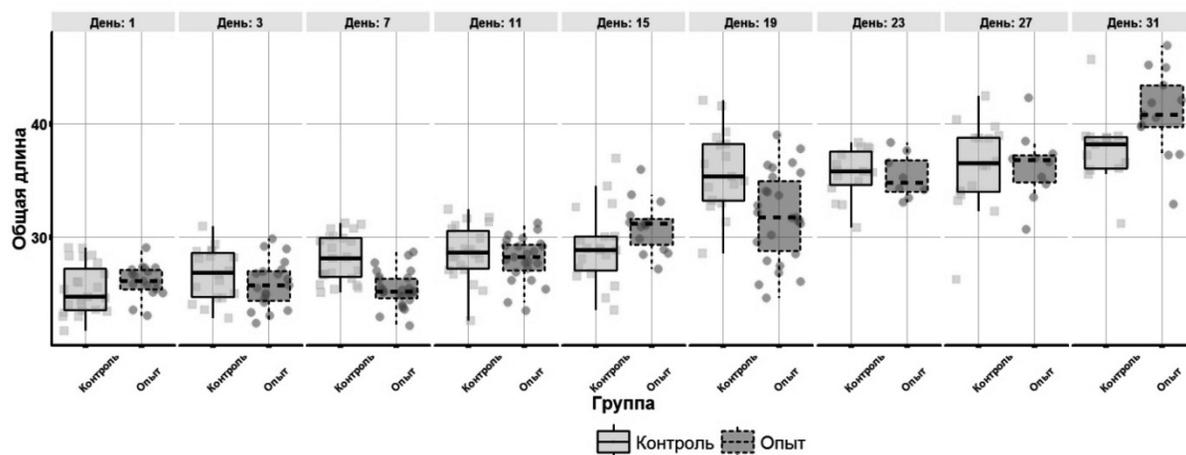
Рис. 1. Вариограмма изменения стимулирующего эффекта лазерно-оптического прибора «Стронга» на индивидуальное время жизни эмбрионов радужной форели в зависимости от периодичности воздействия (1–5 дней) и времени воздействия (0–30 мин.)

Выявленную стимулирующую дозировку оптического излучения мы применяли в производственных условиях рыбокомплекса в модуле инкубации при воздействии оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы радужной форели на стадии глазка. Были сформированы две группы: опытная, эмбрионы которой подвергались оптическому излучению в наиболее оптимальной дозировке, и контрольная, эмбрионы которой не подвергались оптическому излучению, но находились в идентичных условиях.

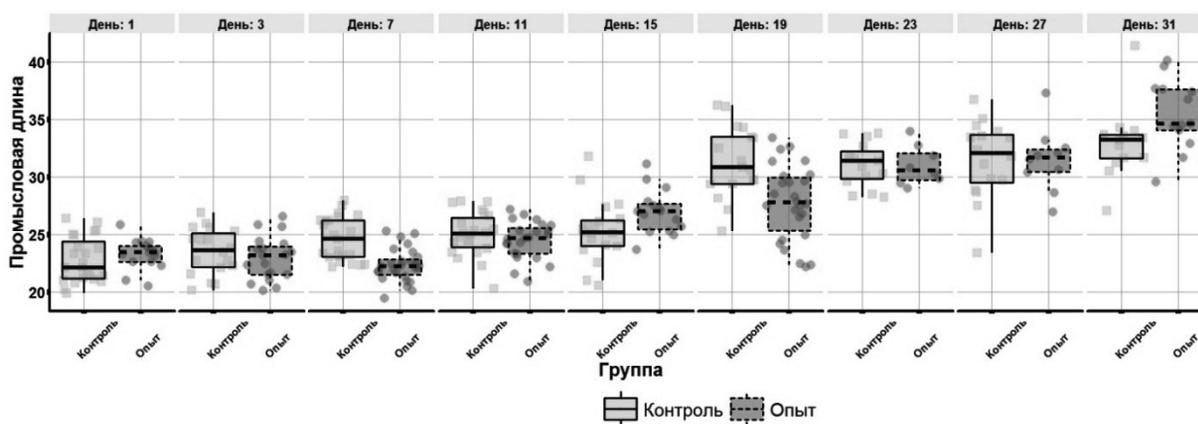
Средняя масса через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от  $0,12 \pm 0,01$  до  $0,13 \pm 0,01$  г, однако через 31 день произошло увеличение средней массы в опытной группе ( $0,43 \pm 0,02$  г) относительно контрольной группы ( $0,57 \pm 0,02$  г). Различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

Общая длина через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от  $25,40 \pm 0,45$  до  $26,14 \pm 0,35$  мм, однако через 31 день произошло увеличение общей длины в опытной группе ( $40,98 \pm 1,05$  мм) относительно контрольной группы ( $37,74 \pm 0,89$  мм). Различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

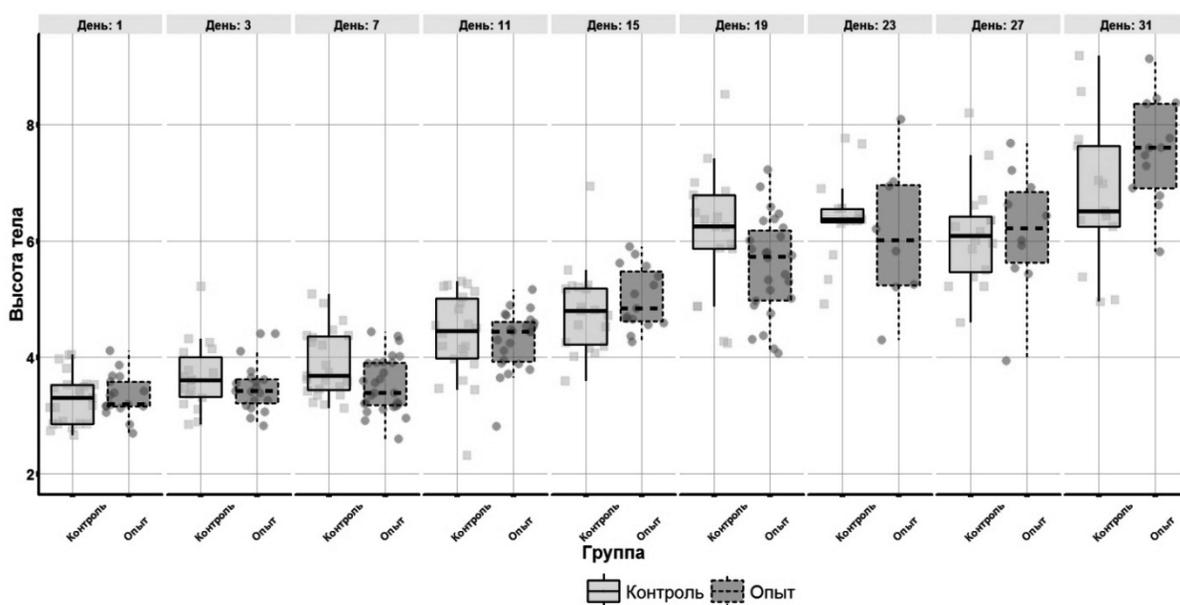
Длина, по Смитту, через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от  $25,19 \pm 0,46$  до  $25,79 \pm 0,35$  мм, однако через 31 день произошло



а



б



в

Рис. 2. Совмещенная диаграмма одномерного рассеяния и размахов роста размерных показателей личинок радужной форели в контрольной и опытной группах: общая длина (а), промысловая длина (б), высота тела (в).

Прямоугольник диаграммы размахов обозначает медиану, а также 0,25 и 0,75 квантиль.

N = 10–20 (в зависимости от дня наблюдения)

увеличение длины, по Смитту, в опытной группе ( $39,60 \pm 0,95$  мм) относительно контрольной группы ( $36,53 \pm 0,91$  мм). Различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

Промысловая длина через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от  $22,76 \pm 0,41$  до  $23,30 \pm 0,30$  мм, однако через 31 день произошло увеличение промысловой длины в опытной группе ( $35,45 \pm 0,85$  мм) относительно контрольной группы ( $32,94 \pm 0,88$  мм). Различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

Длина головы через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от  $5,88 \pm 0,14$  до  $5,98 \pm 0,15$  мм, однако через 31 день произошло увеличение длины головы в опытной группе ( $9,77 \pm 0,21$  мм) относительно контрольной группы ( $8,99 \pm 0,16$  мм). Различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

Длина туловища через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от  $16,79 \pm 0,33$  до  $17,28 \pm 0,25$  мм, однако через 31 день произошло увеличение длины туловища в опытной группе ( $25,90 \pm 0,70$  мм) относительно контрольной группы ( $23,99 \pm 0,79$  мм). Различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

Высота тела через неделю после выклева достоверно не отличалась между исследуемыми группами и изменялась от  $3,28 \pm 0,05$  до  $3,33 \pm 0,05$  мм, однако через 31 день произошло увеличение высоты тела в опытной группе ( $7,55 \pm 0,24$  мм) относительно контрольной группы ( $6,77 \pm 0,36$  мм). Следует отметить, что различия статистически недостоверны ( $p > 0,05$ ).

Антедорсальное расстояние через неделю после выклева достоверно не отличалось между исследуемыми группами и изменялось от  $11,70 \pm 0,20$  до  $11,95 \pm 0,19$  мм, однако через 31 день произошло увеличение

антедорсального расстояния в опытной группе ( $18,46 \pm 0,48$  мм) относительно контрольной группы ( $16,91 \pm 0,44$  мм). Различия статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

Антевентральное расстояние через неделю после выклева достоверно не отличалось между исследуемыми группами и изменялось от  $12,06 \pm 0,25$  до  $12,57 \pm 0,26$  мм, однако через 31 день произошло увеличение антевентрального расстояния в опытной группе ( $19,65 \pm 0,57$  мм) относительно контрольной группы ( $18,68 \pm 0,55$  мм). Следует отметить, что различия статистически недостоверны ( $p > 0,05$ ).

Абсолютный среднесуточный прирост массы через неделю после выклева изменялся от 0,002 до 0,008 г. Через 31 день абсолютный среднесуточный прирост массы составил 0,006 г в контрольной группе и 0,04 г в опытной группе. Относительная скорость роста массы через 31 день после выклева в контрольной группе составляла 6,59 %, в опытной группе 34,25 %.

Экстерьерные индексы в исследуемых группах достоверно не отличались и изменялись следующим образом: через неделю после выклева индекс прогонистости варьировал от 6,98 до 7,04, индекс высокоспинности – от 14,27 до 14,39, индекс большеголовости – от 25,68 до 25,87. Через 31 день после выклева в контрольной группе средние значения экстерьерных индексов составили 4,97; 20,49; 27,39 для индекса прогонистости, индекса высокоспинности и индекса большеголовости соответственно. Через 31 день после выклева в опытной группе средние значения экстерьерных индексов составили 4,72; 21,27; 27,63 для индекса прогонистости, индекса высокоспинности и индекса большеголовости соответственно. Различия статистически недостоверны ( $p > 0,05$ ).

Анализ коэффициентов корреляции между экстерьерными индексами не выявил достоверных отличий между исследуемыми группами (рис. 3).

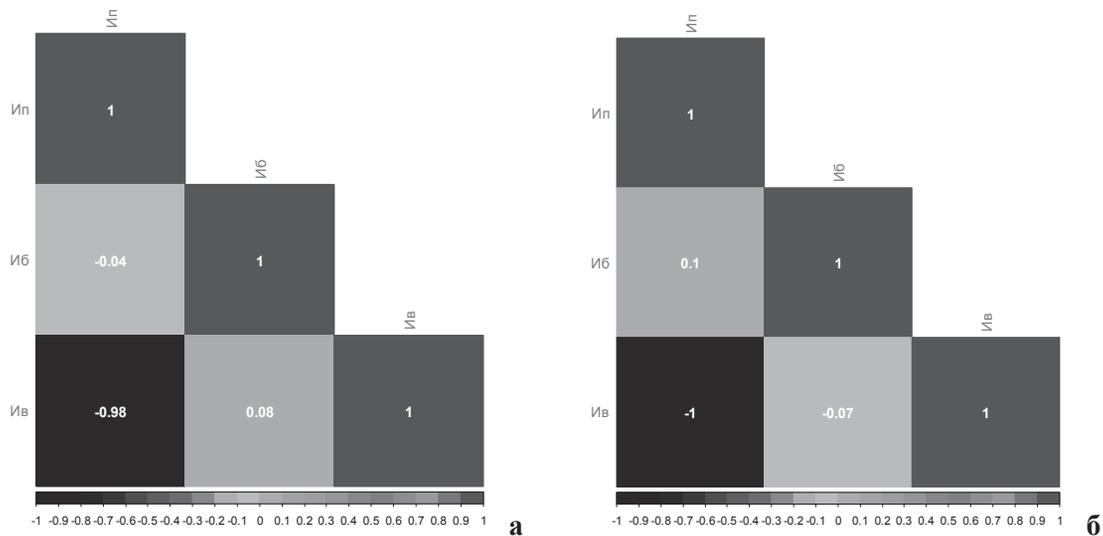


Рис. 3. Мультиколлинеарная матрица корреляционных связей экстерьерных индексов радужной форели в контрольной (а) и опытной (б) группе через 31 день после выклева. Условные обозначения: Ип – индекс прогонистости, ИБ – индекс большеголовости, Ив – индекс высокоспинности

Для анализа влияния оптического излучения на темп роста массы личинок радужной форели нами были построены 13 вышеперечисленных нелинейных моделей регрессии с учетом классификации Ритца [18], [19]. Селекцию лучших моделей осуществляли на основании значения логарифма правдоподобия ( $\log\text{Lik}$ ). Так, при анализе темпа изменения средней массы в контрольной группе лучшие значения  $\log\text{Lik}$  наблюдались у логистической модели с четырьмя параметрами; в опытной группе лучшие значения  $\log\text{Lik}$  наблюдались у Log-логистической модели с четырьмя параметрами. Значения коэффициентов указанных моделей приведены в таблице. Визуализация отобранных моделей представлена на рис. 4.

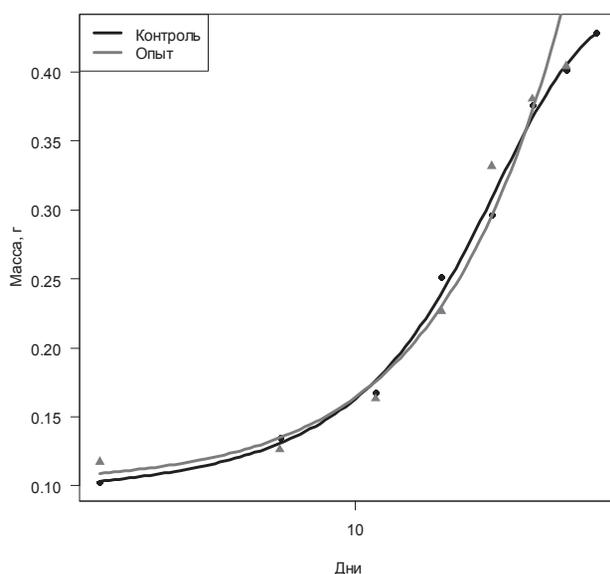


Рис. 4. Модели (логистическая модель с четырьмя параметрами (контрольная группа) и Log-логистическая модель с четырьмя параметрами (опытная группа)) темпа роста (массы) личинок радужной форели

Коэффициенты нелинейных моделей темпа роста (массы) личинок радужной форели в контрольной и опытной группах

Модель	Группа	
	контрольная	опытная
Коэффициенты	Логистическая модель	Log-логистическая модель
b	-0,18540	-1,8205
c	0,07383	0,1022
d	0,45071	4,6645
e	16,30119	105,2283

Логистическая модель с четырьмя параметрами имела следующий вид функции регрессии:

$$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b(x-e)\}} \quad (1)$$

Log-логистическая модель с четырьмя параметрами имела следующий вид функции регрессии:

$$\varphi(x) = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b(\log(x)-\log(e))\}} \quad (2)$$

где параметры  $c$  и  $d$  являются нижним и верхним пределами отклика,  $b$ ,  $e$  – параметры задаваемой нелинейной функции [13].

Проведенные исследования установили, что оптическое излучение низкой интенсивности способно оказывать влияние на изменение жизнестойкости личинок и мальков радужной форели при использовании методов функциональных нагрузок: терморезистентности, нейрофармакологического тестирования, а также при использовании оценки фоновых реакций пигментных клеток.

Так, при определении терморезистентности у молоди средней навеской 15 г величина стимулирующего эффекта достигала 19 %. При определении терморезистентности у молоди средней навеской 30 г величина стимулирующего эффекта достигала 12 %. Таким образом под влиянием оптического излучения происходило увеличение устойчивости рыбопосадочного материала радужной форели к экстремальным температурам.

При проведении нейрофармакологического тестирования в опытной группе величина стимулирующего эффекта времени восстановления после наркотического воздействия составила от 3 до 8 % в зависимости от массы рыбопосадочного материала.

В ходе изучения изменения окраски мальков при оценке фоновых реакций пигментных клеток была установлена более активная реакция меланофоров на изменения фона у мальков опытной группы, чем у мальков контрольной группы, что свидетельствовало об ее большей физиологической адаптивности к изменяющимся параметрам среды. При этом величина стимулирующего эффекта достигала 32 %. Регистрацию реакции пигментных клеток осуществляли при использовании программы FishGui на базе MATLAB (рис. 5), которая регистрировала параметры окраски в формате цветовых моделей RGB и HSV (рис. 6) и определяла доминирующую длину волны окраски рыбы (рис. 7).

При изучении мазков крови исследуемого рыбопосадочного материала радужной форели статистические отличия между контрольной и опытной группой выявлены не были. При этом формула крови свидетельствовала о нормальном развитии рыбопосадочного материала: количество эритроцитов варьировало от 86,6 до 93,8 %, незрелых лимфоцитов от 0,4 до 1,3 %, зрелых лимфоцитов от 2,3 до 6,5 %, моноцитов от 0,3 до 0,7 %, гранулоцитов от 0,4 до 1,6 %, тромбоцитов от 1,1 до 4,2 %.

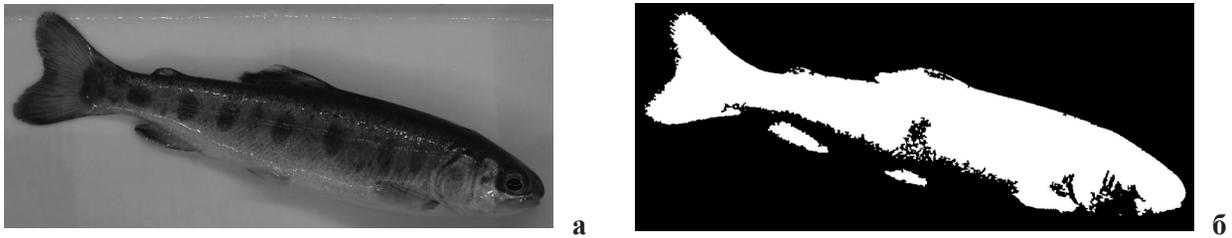


Рис. 5. Пример обработки изображения (а – до обработки, б – после обработки) с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

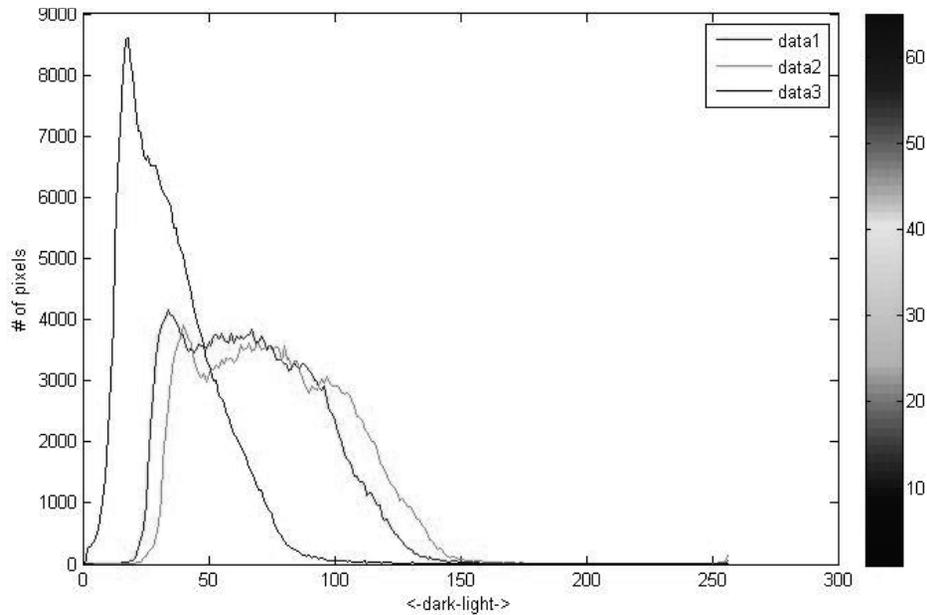


Рис. 6. Пример графика распределения отдельных цветов в восьмибитовом изображении с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

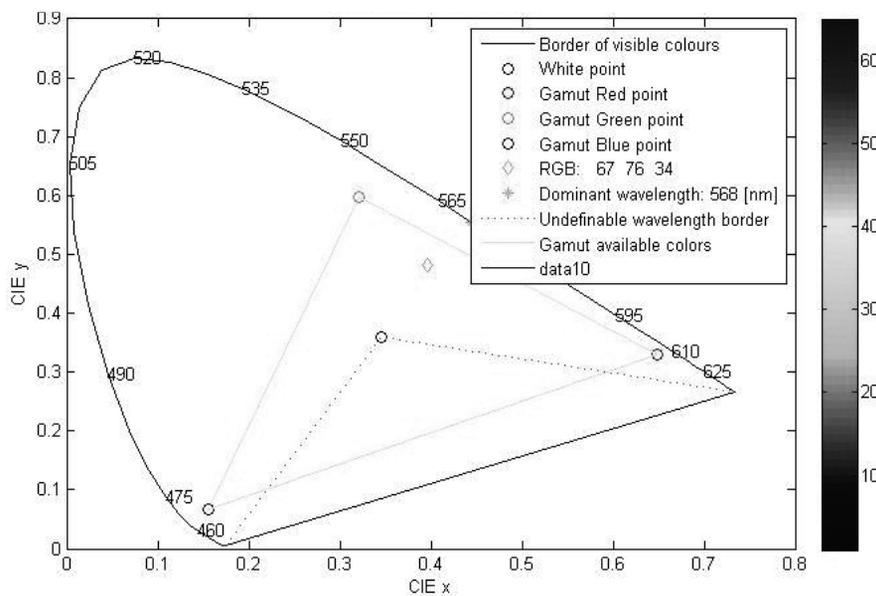


Рис. 7. Пример графика гаммы с определением доминирующей длины волны изображения с рыбопосадочным материалом радужной форели в программе FishGui для оценки фоновых реакций пигментных клеток

При проведении биохимических исследований достоверных отличий между исследуемыми группами по таким параметрам, как концентрация магния, мочевины, триглицеридов, кальция, альбумина, неорганического фосфора, полного белка, полного холестерина, глюкозы, выявлено не было. Однако установлено, что в опытной группе происходило достоверное снижение активности аспартатаминотрансферазы и аланинаминотрансферазы с 9 до 17 %.

В результате производственной проверки в контрольной группе было получено 3 525 штук личинок средней навеской 0,42 г (70,5 % выживаемости), а в группе, на которую воздействовали оптическим излучением низкой интенсивности, – 4 060 штук личинок средней навеской 0,57 г (81,2 % выживаемости). Ожидаемый экономический эффект от использования результатов составил 395,9 белорусских рубля на 10 000 штук личинок радужной форели.

На основании ранее проведенных исследований мы считаем, что в основе фотофизического механизма, определяющего биологическое действие оптического излучения низкой интенсивности при его воздействии на эмбрионы рыб, кроме диполь-дипольных взаимодействий, лежит ориентационный эффект нефотохимической природы [7], [8], [9], [10], [11].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, периодичность оптического излучения низкой интенсивности при воздействии на икру рыб обеспечивает повышение эффективности искусственного воспроизводства и выращивания лососевых рыб за счет стимуляции размерно-весовых показателей, выживаемости, жизнестойкости и других физиологических показателей, а также оптимизации технологии товарной аквакультуры при низкой стоимости оборудования для ее реализации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барулин Н. В. Системный подход к технологии регулирования воспроизводства объектов аквакультуры в рыбноводных промышленных комплексах // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2015. № 3. С. 107–111.
2. Барулин Н. В., Плавский В. Ю., Орлович В. А. Жаброногий рачок *Artemia salina* L. как объект для исследования биологической активности оптического излучения низкой интенсивности // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2012. № 28. С. 42–49.
3. Курдюков С. И. Экономическая ситуация в рыбохозяйственном комплексе // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 1. С. 20–22.
4. Мамонтов Ю. П. Аквакультура в пресноводных водоемах России. Тюмень: ФГУП Госрыбцентр, 2007. 35 с.
5. Мастицкий С. Э. Визуализация данных с помощью ggplot2. М.: ДМК Пресс, 2017. 222 с.
6. Мастицкий С. Э., Шитиков В. К. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. Хайдельберг. Лондон; Тольятти, 2014. 401 с.
7. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние лазерного излучения инфракрасной области спектра на устойчивость молоди осетровых рыб к дефициту кислорода // Биомедицинская радиоэлектроника. 2008. № 8–9. С. 65–74.
8. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние модуляции низкоинтенсивного лазерного излучения на его биологическую активность // Лазерная медицина. 2009. Т. 13. № 1. С. 4–10.
9. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние низкоинтенсивного лазерного облучения икры на жизнестойкость молоди осетровых рыб // Журнал прикладной спектроскопии. 2008. Т. 75. № 2. С. 233–241.
10. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Влияние поляризации и когерентности оптического излучения низкой интенсивности на эмбрионы рыб // Журнал прикладной спектроскопии. 2008. Т. 75. № 6. С. 843–858.
11. Плавский В. Ю., Барулин Н. В. Роль поляризации и когерентности оптического излучения во взаимодействии со сперматозоидами осетровых рыб // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2009. № 25. С. 56–63.
12. Портная Т. В., Портной А. И., Сопот А. А. Характер эмбрионального и постэмбрионального развития радужной форели при доинкубации икры в условиях неблагоприятного повышения температуры воды // Животноводство и ветеринарная медицина. 2015. № 2 (17). С. 26–33.
13. Шитиков В. К. Экотоксикология и статистическое моделирование эффекта с использованием R. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2016. 149 с.
14. Barulin N. V. Serum enzyme response of captive sturgeon brookstock *Acipenser baerii* Brandt 1869 females and two hybrids (best = female *Huso huso* Linnaeus, 1758 × male *Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758, and RsSs = *A. gueldenstaedtii* Brandt 1833 × *A. baerii* Brandt 1869) to hormonal stimulation for spawning induction // Journal of Applied Ichthyology. 2015. Vol. 2 (31). P. 2–6.
15. Fox J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R // J. of Statistical Software. 2005. Vol. 14 (9). P. 1–42.
16. Kostousov V. G., Barulin N. V. Development of industrial fish culture in Belarus // Recirculation technologies in indoor and outdoor systems. HANDBOOK. Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation/Szarvas. 2013. P. 44–48.
17. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL: <https://www.R-project.org/>.
18. Ritz C. et al. Dose-Response Analysis Using R // PLOS ONE. 2015. Vol. 10 (12).
19. Ritz C. Towards a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology // Environ. Toxicol. Chem. 2010. Vol. 29. P. 220–229.
20. Urban J. et al. Expertomica Fishgui: comparison of fish skin colour // J. Appl. Ichthyol. 2013. Vol. 29. P. 172–180.
21. Venables W. N., Ripley B. D. Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition. Springer, New York, 2002. 498 p.
22. Wei T., Simko V. Corrplot.: Visualization of a Correlation Matrix // R package version 0.77. 2016. <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>.
23. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag, New York, 2009.
24. Wood S. N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // Journal of the Royal Statistical Society (B). 2011. Vol. 73 (1). P. 3–36.

**Liman M. S.**, Belarusian State Agricultural Academy (Gorki, Belarus)  
**Barulin N. V.**, Belarusian State Agricultural Academy (Gorki, Belarus)

### THE EFFECT OF LOW INTENSITY OPTICAL RADIATION ON EMBRYOS AND LARVAE OF RAINBOW TROUT

Traditionally, the most difficult step of the reproduction technology and cultivation of fish is the step of stocking material cultivation. The incubation period requires correction of the embryonic development with the use of different factors. One such factor is a low-intensity optical radiation. The aim of our study was to determine the most optimal modes of the low-intensity optical radiation and the effect of the optimal mode on fish breeding and biological indicators of larvae and juvenile rainbow trout. The results of the study revealed that, within five days for 20 minutes a day with the power density of 3,0 mW/cm<sup>2</sup>, the low-intensity optical radiation (red region,  $\lambda = 630$  nm) can exert a stimulating effect on the size and weight of the rainbow trout stocking material. Juvenile fish from the experimental group was characterized by higher values of vitality and survival rate, higher adaptability to changing physiological parameters. Haematological and biochemical parameters of blood were within the physiological norm.

Key words: laser and optical radiation, aquaculture, hatchery, eggs, rainbow trout, salmon

#### REFERENCES

1. Barulin N. V. System approach to the regulation of fish reproduction on fish farms. Весті нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2015. № 3. С. 107–111. (In Russ.)
2. Barulin N. V., Plavskii V. Y., Orlovich V. A. Gill-footed crustaceans *Artemia salina* L. as an object for the biological activity of low intensity optical radiation study. *Belarus Fish Industry Problems: a collection of scientific papers*. 2012. No 28. P. 42–49. (In Russ.)
3. Kurdjukov S. I. Economic situation in fish-husbandry complex of Russia. *Vest. Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2007. No 1. P. 20–22. (In Russ.)
4. Mamontov Y. P. Aquaculture in freshwater of Russia. Tyumen, 2007. 35 p. (In Russ.)
5. Mastitsky S. E. Visualization of data with the help of ggplot2. Moscow, 2017. 222 p. (In Russ.)
6. Mastitsky S. E., Shitikov V. K. Statistical analysis and visualization of data with the help of R. Heidelberg. London, Togliatti, 2014. 401 p. (In Russ.)
7. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Influence of Infra-Red Laser Radiation on Viability of Larva Sturgeon Fishes to Deficiency of Oxygen. *Biomedical radio electronics*. 2008. № 8–9. P. 65–74. (In Russ.)
8. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Modulation effect of low-intensity laser radiation on its biological activity. *Laser Medicine*. 2009. Vol. 13. No 1. P. 4–10. (In Russ.)
9. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Effect of exposure of sturgeon roe to low-intensity laser radiation on the hardness of juvenile sturgeon. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2008. Vol. 75. No 2. P. 241–250. (In Russ.)
10. Plavskii V. Y., Barulin N. V. Effect of polarization and coherence of low-intensity optical radiation on fish embryos. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2008. Vol. 75. No 6. P. 843–856. (In Russ.)
11. Plavskij V. Ju., Barulin N. V. Effect of polarization and coherence of low-intensity optical radiation on sperm of sturgeon fish. *Belarus Fish Industry Problems*. 2009. No 25. P. 56–63. (In Russ.)
12. Portnaya T. V., Portnoi A. I., Sopot A. A. Character of embryonic and postembryonic development of rainbow trout during pre-incubation of eggs under conditions of unfavorable rise in water temperature. *Livestock and veterinary medicine*. 2015. No 2 (17). P. 26–33. (In Russ.)
13. Shitikov V. K. Ecotoxicology and statistical modeling of the effect using R. Togliatti, 2016. 149 p. (In Russ.)
14. Barulin N. V. Serum enzyme response of captive sturgeon brookstock *Acipenser baerii* Brandt 1869 females and two hybrids (bester = female *Huso huso* Linnaeus, 1758 × male *Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758, and RsSs = *A. gueldenstaedtii* Brandt 1833 × *A. baerii* Brandt 1869) to hormonal stimulation for spawning induction // *Journal of Applied Ichthyology*. 2015. Vol. 2 (31). P. 2–6.
15. Fox J. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R // *J. of Statistical Software*. 2005. Vol. 14 (9). P. 1–42.
16. Kostousov V. G., Barulin N. V. Development of industrial fish culture in Belarus // *Recirculation technologies in indoor and outdoor systems. HANDBOOK*. Research Institute for Fisheries, Aquaculture and Irrigation/Szarvas. 2013. P. 44–48.
17. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. URL: <https://www.R-project.org/>.
18. Ritz C. et al. Dose-Response Analysis Using R // *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (12).
19. Ritz C. Towards a unified approach to dose-response modeling in ecotoxicology // *Environ. Toxicol. Chem*. 2010. Vol. 29. P. 220–229.
20. Urban J. et al. Expertomica Fishgui: comparison of fish skin colour // *J. Appl. Ichthyol*. 2013. Vol. 29. P. 172–180.
21. Venables W. N., Ripley B. D. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York, 2002. 498 p.
22. Wei T., Simko V. Corrplot.: Visualization of a Correlation Matrix // R package version 0.77. 2016. <https://CRAN.R-project.org/package=corrplot>.
23. Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag, New York, 2009.
24. Wood S. N. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models // *Journal of the Royal Statistical Society (B)*. 2011. Vol. 73 (1). P. 3–36.

Поступила в редакцию 19.01.2018

**ТАТЬЯНА АЛЕКСАНДРОВНА ПАРИНОВА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)  
nadeinata@mail.ru

**АЛЕКСЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ ВОЛКОВ**

кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)  
a.g.volkov@narfu.ru

**АННА АЛЕКСЕЕВНА ПЕРКОВА**

магистрант кафедры биологии, экологии и биотехнологии Высшей школы естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)  
annaperkova@mail.ru

**РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЙМЕННЫХ ЛУГОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ\***

Представлен анализ ресурсного потенциала пойменных лугов Архангельской области по административным районам, выполненный на основе 197 геоботанических описаний пробных площадей размером 100 м<sup>2</sup> каждая. Установлен диапазон экологических условий формирования пойменных лугов по градиентному шкалам Л. Г. Раменского, который представлен в виде непрямой ординации методом неметрического шкалирования. Увлажнение почвы является ведущим фактором в формировании растительности изученных лугов. Всего отмечен 251 вид сосудистых растений из 48 семейств и 139 родов. Таксономический анализ показал совпадение по двум лидирующим позициям в спектрах общего флористического списка исследованных лугов и флоры всей Архангельской области. Луговые виды растений обладают различными индексами фитоценотической значимости (для всех видов общего флористического списка и по отдельным районам). *Alopecurus pratense* L. является абсолютным фитоценотическим лидером для всех районов. Ресурсная значимость каждого вида оценена по отношению к следующим хозяйственным группам: лекарственные, декоративные, дубильные, красильные, технические, культивируемые, медоносные, пищевые, кормовые, сорные и ядовитые виды. Выявлена крайняя засоренность районов области ядовитыми видами (Холмогорский, Приморский), видами сорного мелкостебельного разнотравья (Верхнетоемский, Красноборский, Пинежский), в ряде районов крупнотравными видами (Пинежский, Приморский). Плесецкий район обладает наилучшими в качественном отношении травостоями.

Ключевые слова: пойма, луговые экосистемы, ресурсы, Архангельская область

**ВВЕДЕНИЕ**

Несмотря на то что пойменные луга занимают небольшую площадь территории Архангельской области (не более 4,9 % от всего почвенно-земельного фонда области, что составляет не более  $2 \times 10^6$  га), во все времена они играли важную роль для развития всего региона. Область обладает большим потенциалом для ведения мясомолочного животноводства, а также для кормопроизводства. Кроме того, многие виды луговой флоры относятся к ценным растительным ресурсам: лекарственным, декоративным, дубильным, красильным, техническим, культивируемым, медоносным и пищевым видам<sup>1</sup> [4], [5], [6], [7], [8], [11]. Однако во многом данный потенциал не реализован или утрачен в связи с интенсивным выведением сельхозугодий из оборота в течение последних десятилетий.

Поэтому оценка современного ресурсного потенциала пойменных лугов Архангельской области является важной задачей для понимания состояния растительного покрова лугов и, как следствие, мероприятий по улучшению и рациональному использованию северных пойменных лугов.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Проведенные исследования базируются на полевых работах, выполненных на пойменных лугах Архангельской области (пойма р. Северная Двина) различного хозяйственного использования в 2009–2015 годах. Объектом исследования являются естественные кормовые угодья (сенокосы и пастбища) в пределах модельных пойменных лугов на территории Вельского, Верхнетоемского, Красноборского, Пинежского,

Плесецкого, Приморского и Холмогорского районов Архангельской области. В качестве модельных лугов в перечисленных районах отбирались заливные краткопойменные луга в центральной части поймы, характеризующиеся равнинным макро- и мезорельефом и невыраженным микрорельефом, площадью от 2 до 10 га каждый. Пробные площади (разной формы, но строго по 100 м<sup>2</sup> каждая) закладывались на модельных лугах в пределах выделенных контуров растительности, по одной в каждом контуре. Контур растительности в полевых условиях выделяли по доминантному признаку. Геоботанические описания пробных площадей выполнены по общепринятой методике [3]. Всего в анализ вовлечено 197 геоботанических описаний. Для учета проективного покрытия и встречаемости видов использовался фитоценотический индекс В. М. Полятовской – И. В. Сырокомской [1]:

$$I = \frac{n}{N} \times \Sigma P,$$

где  $I$  – фитоценотический индекс,  $n$  – число площадок, на которых отмечен вид,  $N$  – общее число площадок,  $\Sigma P$  – сумма баллов участия вида на отмеченных площадках.

Латинские названия видов, родов, семейств сосудистых растений приведены по С. К. Черепанову [12].

Хозяйственная значимость каждого вида оценивалась по отношению к следующим группам: лекарственные, декоративные, дубильные, красильные, технические, культивируемые, медоносные, пищевые, кормовые, сорные и ядовитые. Многие виды совмещают в себе сразу несколь-

ко значений. Из-за разницы в числе видов по лугам каждого из административных районов потребовалось унифицировать показатели для составления сравнительной характеристики хозяйственной значимости выявленных видов сосудистых растений по районам области. Для этого использовалась следующая формула, предложенная авторами:

$$\text{Хотн.} = \frac{d}{N},$$

где Хотн. – относительная величина ресурсной значимости;  $d$  – число видов по ресурсному значению в данном районе;  $N$  – общее число видов в данном районе. Формула позволяет представить в гистограмме долю видов каждого хозяйственного значения относительно общего числа видов каждого из административных районов.

На основе геоботанических описаний производился расчет экологических условий лугов (ступени увлажнения, богатства почв и пастбищной дигрессии) по градиентным шкалам Л. Г. Раменского с учетом проективного покрытия видов [10]. Для ординации использовали алгоритм неметрического многомерного шкалирования [15].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Экологические условия исследованных лугов.** Большинство пойменных лугов изученных районов Архангельской области исходя из табл. 1 формируются в относительно однородных экологических условиях: влажнолуговое увлажнение, довольно богатые пойменные почвы, слабое влияние выпаса крупного рогатого скота.

Таблица 1

Экологические условия изученных пойменных лугов

Увлажнение	С	%	Богатство почв	С	%	Степень дигрессии	С	%
Сухо-луговое	53–63	3,0	Небогатые	7–9	3,0	Очень слабая	0–2	7,6
<b>Влажно-луговое</b>	<b>64–76</b>	<b>84,8</b>	<b>Довольно богатые</b>	<b>10–13</b>	<b>84,8</b>	<b>Слабая</b>	<b>3–4</b>	<b>85,3</b>
Сыро-луговое	77–88	11,2	Богатые	14–16	6,6	Умеренная	5	6,1
Болотно-луговое	89–93	1,0	Слабо-солончаковые	17–19	1,5	Сильная	6–7	1,0

Примечание. С – ступени, % – процент пробных площадей с данными условиями от всего числа площадей. Жирным выделены преобладающие условия.

Почвы изученных лугов относятся к аллювиальному типу, по международной классификации – Fluvisol [16] и формируются при различном сочетании дернового и лугового почвообразовательных макропроцессов.

Независимо от географического положения на территории области в пойме р. С. Двина складываются благоприятные условия для формирования пойменных лугов как интразональных сообществ, даже в самом северном из рассматриваемых районов – Приморском. На рис. 1 представлен результат непрямо́й ординации пробных площадей по административным районам, про-

веденной методом неметрического шкалирования – NMS.

Увлажнение почв – ведущий фактор в формировании пойменных лугов в сравнении с богатством почв и выпасом крупного рогатого скота. Полученные результаты подтверждают ранее представленные результаты для пойменных лугов Приморского и Холмогорского районов [7].

**Флористические особенности пойменных лугов по районам Архангельской области.** По результатам анализа 197 геоботанических описаний изученных луговых фитоценозов в 7 рассматриваемых административных рай-

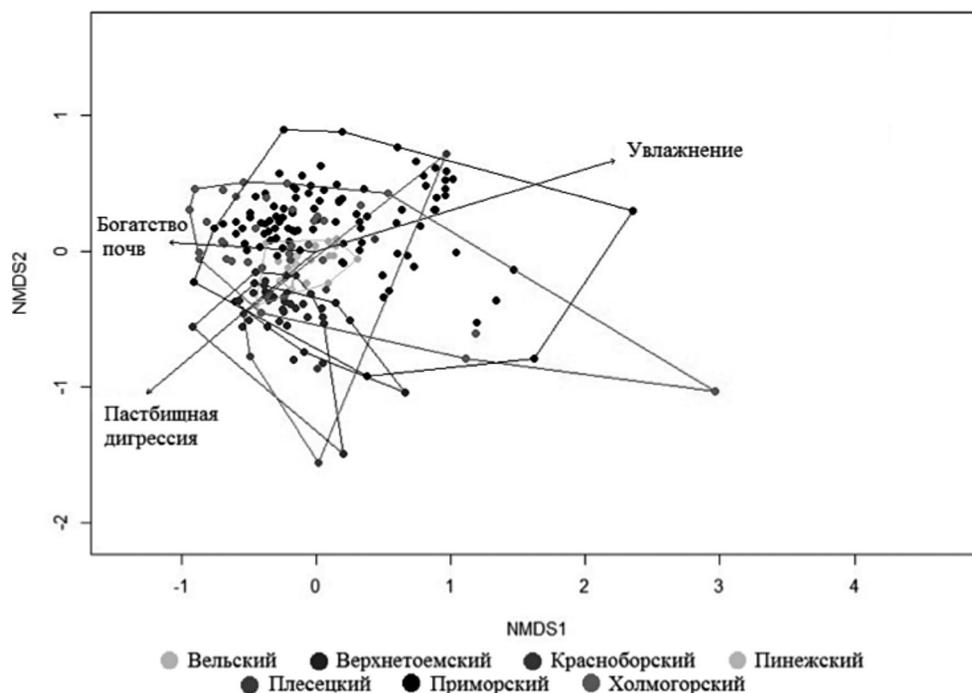


Рис. 1. Ведущие экологические факторы в формировании лугов для отдельных районов Архангельской области

онах области был выявлен 251 вид сосудистых растений (22 % от всей флоры Архангельской области), относящихся к 48 семействам и 139 родам. Для сравнения: В. А. Мартыненко на территории между С. Двиной и Печорой на пойменных лугах в пределах тайги отмечает 324 вида сосудистых растений [6], Н. С. Котелина на лугах р. Вычегда – 313 [2], Л. Л. Чупров на лугах р. Печора – 246 [13], М. Л. Раменская на карельских лугах – 304 вида [9].

Согласно табл. 2, десятью ведущими семействами с наибольшим числом видов сосудистых растений во флоре всех изученных районов Архангельской области являются: Asteraceae – 36 видов, Poaceae – 24, Caryophyllaceae и Fabaceae – по 16, Scrophulariaceae и Ranunculaceae – по 14, Scrophulariaceae – 13, Polygonaceae – 12, Rosaceae – 11, Apiaceae – 10.

Если сравнить полученный общий семейственный спектр по районам с аналогичным спектром флоры всей Архангельской области по В. М. Шмидту [14], то они совпадают по двум лидирующим позициям. Ведущими семействами являются Asteraceae и Poaceae, что связано с наибольшим распространением видов растений из этих семейств в области в целом и на лугах в частности, а также соотносится с особенностями бореальной флоры.

Семейство Сурегасеae имеет третий ранг во флоре Архангельской области, а во флоре изученных пойменных лугов оно занимает более низкие позиции. Это связано со специфическими требованиями большинства осок к экологическим условиям произрастания: по отношению к влаге

они являются в большей степени гигрофитами и обитают в переувлажненных местах. Отсутствие видов осок или уменьшение их покрытия – положительное явление для пойменных травостоев с позиций кормовых свойств<sup>2</sup>.

Семейство Fabaceae в двух сравниваемых спектрах также отличается рангами. В луговой флоре районов семейство имеет ранг 3,5, в то время как во флоре области – 5. Отсутствие видов бобовых или уменьшение их покрытия – отрицательное явление для пойменных травостоев с позиций кормовых свойств<sup>3</sup>. По остальным семействам можно наблюдать незначительные колебания в их распределении, которые связаны с экологическими условиями пойменных лугов.

Для определения видов, которые играют наибольшую роль в сложении растительных сообществ, были выявлены луговые фитоценотические лидеры. Наиболее значимые виды помогают определению ценности луга в хозяйственном отношении, поскольку они являются индикаторами состояния всего травостоя.

При сравнении наиболее фитоценотически значимых видов в целом во флоре пойменных лугов изученных районов Архангельской области выделяется абсолютный лидер – *Alopecurus pratensis* L. (I = 9,3). Также широко представлены другие виды злаков: *Phleum pratense* L. (I = 7,1), *Elytrigia repens* (L.) Beauv. (I = 6,4), *Festuca pratensis* Huds (I = 5,9). Второе место по значимости в луговых сообществах занимают представители разнотравья – *Taraxacum officinale* Wigg. s. l. (I = 7,1) и *Achillea millefolium* L. (I = 7,0), *Alchemilla vulgaris* Rothm. (I = 6,1) и *Ranunculus*

Таблица 2

Количество таксонов и спектр ведущих семейств во флоре пойменных лугов изученных районов Архангельской области и флоре Архангельской области в целом

Сравниваемые флоры/ параметры равнения	Флористический состав пойменных лугов по всем рассматриваемым районам			Флора Архангельской области (Шмидт, 2005)		
	Число видов		Ранг	Число видов		Ранг
	абс.	%		абс.	%	
Число видов	251			1099		
Число родов	139			431		
Число семейств	48			98		
Спектр ведущих семейств изучаемой флоры	Число видов		Ранг	Число видов		Ранг
	абс.	%		абс.	%	
1. Asteraceae	36	14,3	1	114	10,4	1
2. Poaceae	24	9,6	2	102	9,3	2
3. Caryophyllaceae	16	6,4	3,5	58	5,3	4
4. Fabaceae	16	6,4	3,5	52	4,7	5
5. Cyperaceae	14	5,6	5,5	85	7,7	3
6. Ranunculaceae	14	5,6	5,5	45	4,1	8,5
7. Scrophulariaceae	13	5,2	7	45	4,1	8,5
8. Polygonaceae	12	4,8	8	30	2,7	11
9. Rosaceae	11	4,4	9	47	4,3	7
10. Apiaceae	10	4,0	10	23	2,1	14,5
Всего:	166	66,3	–	601	54,7	–

*acris* L. ( $I = 6,0$ ). Поэтому можно утверждать, что травостой в основном разнотравно-злаковые и злаково-разнотравные, в которых большую долю составляют сорные мелкостебельные виды разнотравья, ухудшающие луга в кормовом отношении.

Виды бобовых очень редко занимают господствующее положение в травостоях северных пойменных лугов. Однако довольно часто можно встретить представителей данного семейства, которые в северных условиях являются наиболее ценными. *Trifolium pratense* L. имеет индекс фитоценотической значимости, равный 6,9, другие представители данного семейства занимают промежуточное положение в общем списке – *Lathyrus pratensis* L. ( $I = 5,9$ ), виды горошков – *Vicia cracca* L. ( $I = 5,5$ ) и *V. sepium* L. ( $I = 4,8$ ), *Trifolium repens* L. ( $I = 3,4$ ).

Для анализируемых районов в целом сохраняется подобный рейтинг видов. Однако выделяются Приморский и Пинежский районы, в травостое которых велика доля *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv. Данный вид при его поедании может вызывать поранения у животных, а также образует кочки, мешающие скашиванию травы, обладает мощным аллелопатическим влиянием, способствует заболачиванию лугов, что в совокупности ухудшает травостой с хозяйственной точки зрения. Распространение щучки на лугах центральной поймы обусловлено перевыпасом крупного рогатого скота в прошлом и прекращением использования лугов в настоящем. Чрезмерное распространение мощного эдификатора

*Filipendula ulmaria* L. в Приморском, Пинежском и Вельском районах негативно сказывается на хозяйственных характеристиках травостоя за счет угнетения других видов, ценных в хозяйственном отношении, – многих злаков и бобовых. Разрастание таволги вызвано ее морфологическими особенностями в сочетании с рядом современных явлений на лугах области: прекращением действия сенокосения и выпаса, переувлажнением лугов, в том числе в результате износа мелиоративной системы.

Выявленные тенденции говорят о том, что, несмотря на высокую долю в травостое «полезных» злаков, в дальнейшем можно ожидать сокращения их числа из-за разрастания *Deschampsia cespitosa* и сорного разнотравья, являющихся наиболее конкурентоспособными.

**Ресурсное значение видов пойменных лугов Архангельской области.** Для региона хозяйственная значимость пойменных лугов состоит прежде всего в их высокой продуктивности и кормовой ценности. Но луга имеют не только большое кормовое значение, на них произрастают десятки видов ценнейших лекарственных, пищевых, технических, декоративных и других полезных групп растений, не встречающихся в других растительных сообществах.

Произведя анализ ресурсной значимости видов для исследуемых районов, можно выделить преобладающее число лекарственных растений, на долю которых приходится 181 вид. Большинство из лекарственных растений области обладает противовоспалительным, противомикробным

и ранозаживляющим лечебным свойством. На долю декоративных приходится 124 вида. Большое хозяйственное значение имеют также технические растения, которые составляют 106 видов, и относящиеся к ним виды растений с дубильными (78 видов) и красильными (38 видов) свойствами. Медоносными являются 97 видов, которые имеют большое значение для развития пчеловодства на территории нашей области. Всего для введения в культуру с разными целями возможно использование 72 видов. Кормовых видов – 74, пищевых – 60. Наблюдается довольно большое число видов сорного разнотравья – 92 и ядовитых видов – 47.

При сравнении хозяйственного значения видов растений в представленных районах области (рис. 2) наблюдается сохранение соотношения ресурсных характеристик флоры. Можно выделить лидирующие районы по тому или иному приоритетному виду заготовки сырья.

Для заготовки лекарственных растений наибольшим потенциалом обладает Верхнетоемский район, на него приходится наибольшее число видов с лекарственными свойствами (*Geranium pratense* L., *Tussilago farfara* L., *Achillea millefolium*). Наибольшая доля декоративных видов представлена в Холмогорском районе (злаки, например *Festuca rubra* L. и различные виды Сarex). Для заготовки технического сырья рекомендуется Вельский район. По количеству дубильных растений все исследуемые районы имеют лишь небольшое различие, но из них несколько выделяется Приморский район (*Geranium pratense*, *Heracleum sosnowskyi* Manden.), виды родов *Rumex* L. и *Plantago* L.), а по количеству растений, имеющих красильные свойства (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Alchemilla vulgaris*, *Filipendula ulmaria*), выделяются три района – Вельский, Верхнетоемский и Плесецкий. Медоносные виды наиболее представлены в южной части области, где условия для пчеловодства более благоприятны. В этой группе можно выделить следующие виды: *Trifolium pratense*, *Lathyrus pratensis* L., *Campanula patula* L., *Geum rivale* L., которые широко распространены в Верхнетоемском районе. Луга данного района наиболее богаты пищевыми видами растений, например *Carum carvi* L. и др. Вельский район выделяется по числу видов с различными полезными свойствами для введения в культуру.

Для нашего региона ведущую роль в сельском хозяйстве играет кормопроизводство, поэтому оценка лугов в качестве естественных кормовых угодий является наиболее важной. Исходя из полученных данных можно наблюдать преобладание сорных видов в травостое лугов по сравнению с видами хороших кормовых качеств. По распространенности ядовитых видов выделяются Приморский и Холмогорский районы. Происходит захват ценных пойменных лугов быстро

распространяющимися сорными видами: *Cirsium arvense*, *Heracleum sibiricum* L., *H. sosnowskyi*. Этот процесс является следствием деградации травостоев пойменных лугов в результате отсутствия постоянного рационального использования, в первую очередь – сенокосения и выпаса.

Со стороны количественной оценки пойменных травостоев как кормовых угодий отметим, что с сенокосных лугов центральной поймы р. С. Двина в среднем по области получают 20–30 ц/га сена. Урожайность лугов островной поймы низовий р. С. Двина (Приморский и Холмогорский районы) составляет 48 ц/га сена [7].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с нахождением всех исследованных лугов в сходных экологических условиях (практически не используемые в настоящее время краткопойменные луга центральной части поймы на аллювиальных почвах) численные показатели таких факторов, как увлажнение, богатство почв и пастбищная дигрессия, различаются незначительно. Изученные луга характеризуются влажнотравным увлажнением, довольно богатыми почвами и слабой степенью пастбищной дигрессии (сенокосная стадия). Из них увлажнение является ведущим экологическим фактором.

На исследованных лугах произрастает 251 вид сосудистых растений (22 % от всей флоры Архангельской области). Доминирующими семействами по числу видов в травостоях пойменных лугов Архангельской области являются Asteraceae и Poaceae, что соотносится с семейственным спектром флоры области. Наибольший вклад в формирование луговых фитоценозов вносят травы семейства Poaceae, из которых максимальным индексом фитоценотической значимости обладают такие виды, как *Alopecurus pratensis* и *Phleum pratense*. Далее по значимости идут представители разнотравья (*Taraxacum officinale*, *Achillea millefolium*, *Alchemilla vulgaris*) и бобовых (*Trifolium pratense*).

Травостои пойменных лугов имеют большое практическое значение. К приоритетным направлениям хозяйственного использования растительности на пойменных лугах необходимо на первое место поставить кормопроизводство как основное направление развития области, а также заготовку лекарственного сырья.

Следует еще раз подчеркнуть, что в результате прекращения хозяйственного использования лугов при их преимущественно антропогенно-зависимой природе формирования и стабильного существования наблюдается увеличение доли числа сорных видов в травостое лугов по сравнению с кормовыми и другими группами. Холмогорский и Приморский районы отличаются большей долей в травостоях пойменных лугов ядовитых видов. Угрозу флористическому разнообразию луговых травостоев и их высоким

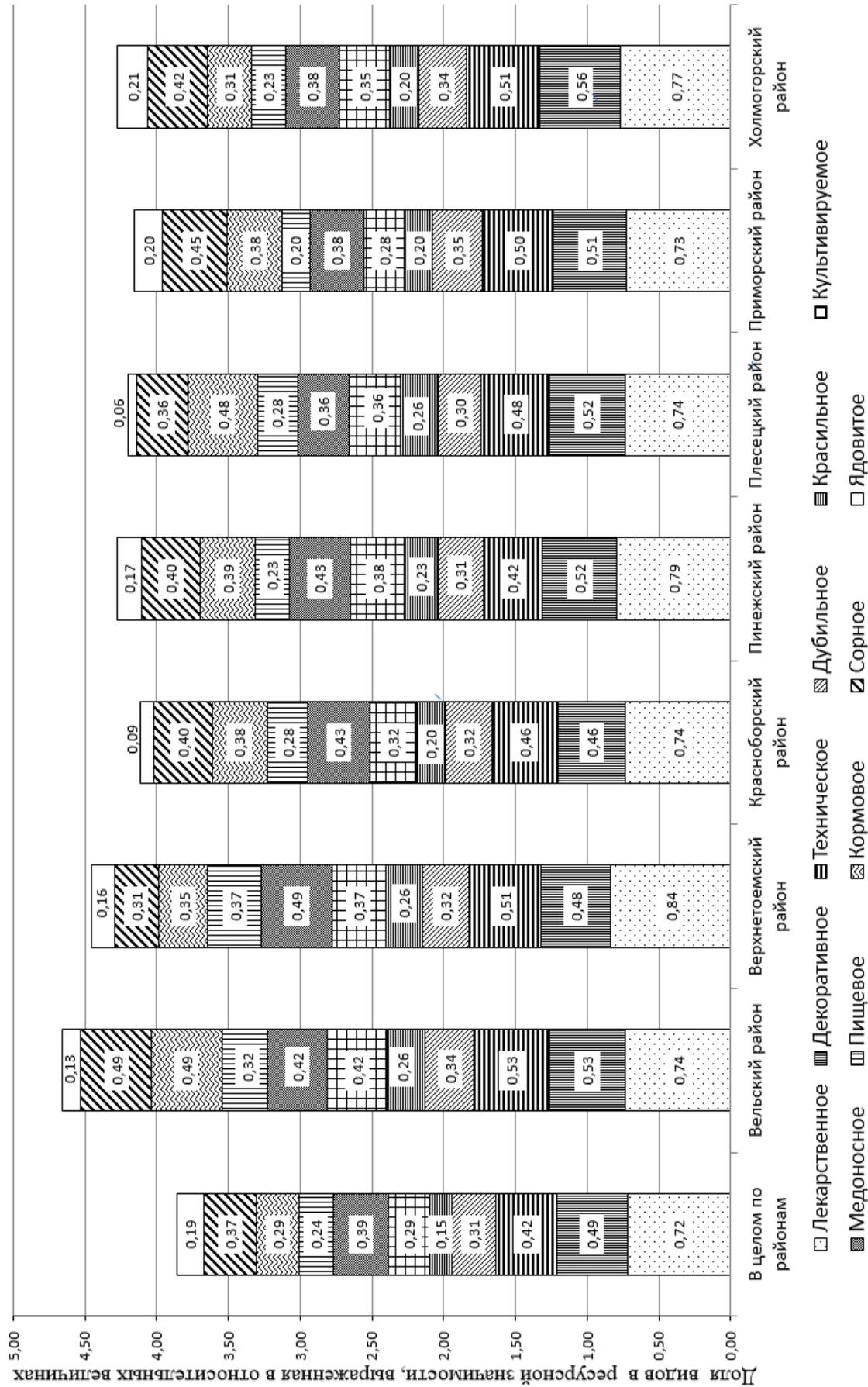


Рис. 2. Представленность видов по ресурсному значению во флоре пойменных лугов отдельных районов Архангельской области

хозяйственным характеристикам представляет быстрое массовое распространение таких видов, как: *Cirsium arvense*, *Heracleum sibiricum*, *H. Sosnowskyi*, *Deschampsia cespitosa*, *Filipendula ulmaria*.

Плесецкий район обладает отличными в качестве отношением травостоями, как по преобладающему числу кормовых видов, так и по наименьшему числу ядовитых растений.

Подводя общий итог, можно констатировать что, несмотря на оптимальные показатели экологических условий на пойменных лугах, их видовое разнообразие и большой ресурсный потенциал на сегодняшний день снижаются. Общее состояние обследованных лугов неудовлетворительное из-за снижения ценных хозяйственных характеристик травостоев.

\* Исследования частично осуществлены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-44-290111 (руководитель проф. Е. Н. Наквасина).

#### ПРИМЕЧАНИЯ

- <sup>1</sup> К первоисточникам, содержащим сведения о структуре и значении пойменных лугов р. Северная Двина, относится ряд работ А. П. Шенникова: Шенников А. П. Аллювиальные луга в долинах рек Северной Двины и Сухоны в пределах Вологодской губернии // Материалы по организации и культуре кормовой площади. Вып. 6. СПб.: Типография В. О. Киришабаума, 1913. 85 с.; Шенников А. П. Геоботанические районы Северного края и их значение в развитии производственных сил // Растительный мир и почвы. Т. 2. Материалы второй конференции по изучению производственных сил Северного края. Архангельск: Северное краевое издательство, 1933. С. 10–97; Шенников А. П. Северная геоботаническая экспедиция Ботанического института Академии наук в 1932 году // Труды Ботанического института Академии наук СССР. Геоботаника. Вып. 2. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1937. С. 5–7. Обзорные данные о площадях пойменных земель Архангельской области представлены в отчете: Доклад о состоянии и использовании земель Архангельской области за 2000 год. Архангельск, 2001. 124 с.
- <sup>2</sup> Подробные сведения о ресурсной значимости конкретных луговых видов отражены в следующих работах: Бобовые // Кормовые растения естественных сенокосов и пастбищ СССР / Под. ред. И. В. Ларина. Л.: Изд-во Всесоюзной академии с.-х. наук им. В. И. Ленина. Ленинградский Филиал, 1937. С. 527–637; Осоковые // Кормовые растения естественных сенокосов и пастбищ СССР / Под. ред. И. В. Ларина. Л.: Изд-во Всесоюзной академии с.-х. наук им. В. И. Ленина. Ленинградский Филиал, 1937. С. 280–307; Клаап Э. Сенокосы и пастбища. М.: Изд-во сельхоз. лит-ры, журналов и плакатов, 1961. 613 с.
- <sup>3</sup> Там же.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баканов А. И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах. Борок: ВНИТИ, 1987. 63 с.
2. Котелина Н. С. Пойменные луга р. Вычегды и пути их улучшения // Луга Коми АССР. М.; Л., 1959. С. 7–172.
3. Лайдинен Г. Ф., Ларионова Н. П., Лантратова А. С. Геоботаническое изучение луговой растительности // Методы полевых и лабораторных исследований растительных сообществ. Петрозаводск: ПетрГУ, 2001. 296 с.
4. Луга Нечерноземья / Под ред. А. Г. Воронова. М.: Изд-во МГУ, 1984. 160 с.
5. Любова С. В. Кормопроизводство Архангельской области: современное состояние и перспективы развития // Ресурсосберегающие технологии в луговом кормопроизводстве: Сб. науч. тр. СПб., 2009. С. 57–60.
6. Мартыненко В. А. Флористический состав кормовых угодий европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1989. 136 с.
7. Парина Т. А., Наквасина Е. Н., Сидорова О. В. Луга островной поймы низовий Северной Двины. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 146 с.
8. Попова Л. А., Макарына С. В. Агроэкологическое состояние пойменных лугов Северной Двины // Генезис, география, антропогенные изменения и плодородие почв (Сибирцевские чтения): Тез. докл. XI съезда РГО (Архангельск, 2000 г.). СПб., 2000. С. 76–77.
9. Раменская М. Л. Луговая растительность Карелии. Петрозаводск: Гос. изд-во Карельской АССР, 1958. 400 с.
10. Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижигов О. Н., Антипин Н. А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Сельхозгиз, 1956. 472 с.
11. Уланов А. Н., Журавлева Т. Л., Шельменкина Х. Х. Восстановление нарушенных болотных экосистем южной тайги европейской части северо-востока России // Кормопроизводство. 2012. № 6. С. 34–35.
12. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
13. Чупров Л. Л. Луга долины р. Печоры, их классификация, использование и улучшение. Норильск, 1997. 144 с.
14. Шмидт В. М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 346 с.
15. Kruskal J. B., Wish M. Multidimensional Scaling. Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences, number 07–011. Sage Publications, Newbury Park, CA, 1978. 93 p.
16. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, 2015. 192 p.

**Parinova T. A.**, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation)

**Volkov A. G.**, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation)

**Perkova A. A.**, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation)

#### RESOURCE POTENTIAL OF FLOODPLAIN MEADOWS IN ARKHANGELSK REGION

The article presents the analysis of the resource potential of floodplain meadows from various administrative regions of Arkhangelsk region. Studies are based on the data from 197 geobotanical descriptions of 100 m<sup>2</sup> trial plots. We have established a range of ecological conditions for the formation of floodplain meadows along ecological gradient scales. The result is presented as an indirect ordination using the method of non-metric scaling. The moistening of soils is a leading factor in the formation of floodplain meadows in comparison with the richness of soils and pasture digression. In total, we detected 251 species of vascular plants from 48 families

and 139 genera. Meadow species of plants have different indices of phytocenotic significance (for all species of the general floral list and for individual regions). The foxtail meadow is the absolute leader for all areas. The taxonomic floristic analysis showed the coincidence of only two families in the spectra of the general floral list and the flora of the entire region. All types of plants are divided into categories: medicinal, decorative, tanning, dyeing, technical, cultivated, honey, food, forage, weed and poisonous species. We have identified areas with a massive spread of poisonous species (Kholmogorskii, Primorskii districts) with weeds of small-stalked herbs (Verkhnetoemskii, Krasnoborskii, Pinezhskii districts), and with coarse-grained species (Pinezhskii, Primorskii districts). Grass stands of highest quality are located in Plesetskii region.

Key words: floodplain, floodplain meadows, meadow ecosystems, resources, Arkhangelsk region

\* The research is supported by the grant from the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) and the government of Arkhangelsk region № 17-44-290111 (the project manager: Prof. E. N. Nakvasina).

#### REFERENCES

1. Bakanov A. I. Quantification of dominance in ecological communities. Borok, 1987. 63 p. (In Russ.)
2. Kotelina N. S. Floodplain meadows of the Vychegda River and ways to improve them. *Meadows of Komi ASSR*. Moscow, Leningrad, 1959. P. 7–172. (In Russ.)
3. Laydinen G. F., Larionova N. P., Lantratova A. S. Geobotanical study of meadow vegetation. *Methods of field and laboratory research of plant communities*. Petrozavodsk, 2001. 296 p. (In Russ.)
4. Meadows of the Non-Chernozem Zone. Moscow, 1984. 160 p. (In Russ.)
5. Lyubova S. V. Production of fodder in the Arkhangelsk region: current state and prospects of development. *Resursosbergayushchie tekhnologii v lugovom kormoproizvodstve: Sbornik nauchnykh trudov*. St. Petersburg, 2009. P. 57–60. (In Russ.)
6. Martynenko V. A. Floristic composition of the fodder lands of European North-East. Leningrad, 1989. 136 p. (In Russ.)
7. Parinova T. A., Nakvasina Ye. N., Sidorova O. V. Meadows in the lower reaches of the Northern Dvina River. Arkhangelsk, 2013. 146 p. (In Russ.)
8. Popova L. A., Makar'ina S. V. Agroecological state of floodplain meadows of the Northern Dvina. *Genesis, geography, anthropogenic changes and fertility of soils (Sibirtsev's readings). Abstracts of the XI Congress of the Russian Geographical Society*. St. Petersburg, 2000. P. 76–77. (In Russ.)
9. Ramenskaya M. L. Meadow vegetation of Karelia. Petrozavodsk, 1958. 400 p. (In Russ.)
10. Ramenskiy L. G., Tsatsenkin I. A., Chizhikov O. N., Antipin N. A. Ecological assessment of the fodder land by vegetation cover. Moscow, 1956. 472 p. (In Russ.)
11. Ulanov A. N., Zhuravleva T. L., Shel'menkina K h. K h. Restoration of disturbed marsh ecosystems in the southern taiga of the European part of the northeast of Russia. *Kormoproizvodstvo*. 2012. No 6. P. 34–35. (In Russ.)
12. Cherepanov S. K. Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR). St. Petersburg, 1995. 992 p. (In Russ.)
13. Chuprov L. L. Meadows of the Pechora River valley, their classification, use and improvement. Norilsk, 1997. 144 p. (In Russ.)
14. Schmidt V. M. Flora of Arkhangelsk Region. St. Petersburg, 2005. 346 p. (In Russ.)
15. Kruskal J. B., Wish M. Multidimensional Scaling. Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences, number 07–011. Sage Publications, Newbury Park, CA, 1978. 93 p.
16. World reference base for soil resources, 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome, 2015. 192 p.

Поступила в редакцию 19.12.2017

ТАТЬЯНА АЛЕКСЕЕВНА СУХАРЕВА

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории наземных экосистем, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «Кольский научный центр РАН» (Апатиты, Российская Федерация)  
sukhareva@inep.ksc.ru

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЗЕЛЕННЫХ МХОВ ФОНОВЫХ И ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ\*

Представлены данные по химическому составу зеленых мхов – *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens* в лесных экосистемах Мурманской области, в том числе на территориях Лапландского государственного природного биосферного заповедника и государственного природного заповедника «Пасвик». Выявлены особенности химического состава мхов в различных типах леса. В березняке содержание подвижных макроэлементов N, P, K в зеленых мхах значительно выше, чем в ельниках и сосняках. Установлены возрастные и парцеллярные различия в элементном составе мхов, произрастающих в подкروновых и межкroновых пространствах. Высокая концентрация подвижных элементов N, K, P, Mg, Cu наблюдается в текущем приросте, Al, Fe, Ni – в многолетних побегах. Наибольшие изменения в химическом составе зеленых мхов подкroновых пространств обнаружены в ельниках кустарничково-зеленомошных и березняке разнотравном. Фоновые концентрации Ni и Cu в зеленых мхах не превышают 3 и 7 мг/кг соответственно. Показано, что концентрации Al и тяжелых металлов (Fe, Ni, Cu) и серы в зеленых мхах многократно увеличиваются по градиенту загрязнения. Вблизи локального источника загрязнения, на стадии техногенного редколесья, концентрации Ca, K, P, Mg, Mn существенно ниже фоновых показателей. Содержание углерода и азота, напротив, возрастает.

Ключевые слова: *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, фоновые концентрации, природные и техногенные факторы, северотаежные леса

### ВВЕДЕНИЕ

В моховом ярусе лесов на северном пределе распространения доминирующими видами напочвенного покрова являются *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens*. Зеленые мхи – относительно высокозольные растения – 2,3–2,7 % на сухое вещество [11], играют значительную биогеохимическую роль в лесных экосистемах. Мхи поддерживают температурный режим почвы, заселяя и закрепляя прежде всего «безжизненный» субстрат, и способствуют накоплению органического вещества в экосистемах [21]. Выполненный нами ранее сравнительный анализ элементного состава двух видов зеленых мхов показал, что *Hylocomium splendens* отличается более высоким содержанием азота, а *Pleurozium schreberi* – железа и никеля. В отношении содержания других элементов оба вида имеют сходный элементный состав [17]. В минеральном составе зеленых мхов преобладают азот, калий и кальций. Таким образом, зеленые мхи определяют азотно-калиевый тип биогеохимического круговорота. Наряду с этими элементами в зеленых мхах в достаточном количестве аккумулируются кремний, фосфор, магний [12]. Основное количество элементов зеленые мхи поглощают из атмосферы, поскольку у них отсутствует корневая система, за исключением тех незначительных количеств металлов, которые поступают из почвы при пылении.

В условиях атмосферного загрязнения происходит сокращение в первую очередь чувствительных видов – мхов и лишайников, их фитомассы, видового разнообразия [3], [19], трансформируется и элементный состав [13], [14], [18], [24], [25]. Сведения о содержании химических элементов в зеленых мхах имеет высокое индикаторное значение для оценки негативных воздействий на лесные экосистемы и используется для мониторинга атмосферных выпадений. Степень пространственно-временных изменений концентраций элементов, поступающих из антропогенных или естественных источников, может быть выявлена путем сравнения с эталонными районами или с фоновыми значениями концентраций элементов в образцах того же вида растений [1].

Данные о содержании химических элементов в зеленых мхах немногочисленны, хотя данный вид является типичным для бореальных лесов. Имеющиеся в научной литературе сведения дают оценку в основном изменению химического состава мхов под воздействием антропогенного воздействия и в меньшей степени характеризуют изменения под влиянием природных факторов. В этой связи актуальной задачей становится определение фоновых концентраций элементов в растениях. В настоящее время при выборе фоновых районов у исследователей возникают сложности, поскольку не нарушенных антропогенной

деятельностью территорий остается все меньше в связи не только с локальным, но и трансграничным переносом загрязняющих веществ [2], [10]. Кроме того, на минеральный состав растений оказывают влияние и природные факторы, определяющие повышенный региональный фон для отдельных химических элементов. Типы растительных поясов и типы почвенного покрова также оказывают влияние на содержание химических элементов в растениях [1].

Цель работы – исследование особенностей элементного состава зеленых мхов северотаежных лесов под воздействием природных и техногенных факторов с учетом меж- и внутрибиогеоценотического варьирования на фоновых и техногенно нарушенных территориях Мурманской области.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в центральной, юго-западной и северо-западной частях Мурманской области. Объектами исследований послужили зеленые мхи – *Pleurozium schreberi* (Brid.) и *Hylocomium splendens* (Hedw.). Полевые исследования выполнены в августе 2007 и 2012 годов в различных районах Мурманской области (Кандалакшский, Мончегорский, Никельский) в разных типах леса. В центральной части области (Мончегорский район) отбор зеленых мхов проводили на сети постоянных пробных площадей Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН в ельниках кустарничково-зеленомошных – на стадии дефолирующих лесов (30–62 км от источника выбросов), в том числе на территории Лапландского государственного биосферного заповедника, и на стадии техногенного редколесья (7 км от источника) по градиенту атмосферного загрязнения от комбината «Североникель» (г. Мончегорск). Основными компонентами выбросов выступают сернистые соединения и тяжелые металлы, оказывающие токсическое воздействие на лесные экосистемы. Стадии техногенной дигрессии северотаежных лесов описаны ранее [8], [9]. Фоновая территория находилась на значительном удалении от источника загрязнения в юго-западной части Мурманской области (Кандалакшский район), 160–175 км от комбината, и включала 4 пробные площади: 2 – в сосновых (сосняки лишайниково-кустарничковые) и 2 – в еловых лесах (ельники кустарничково-зеленомошные). В государственном природном заповеднике «Пасвик» (северо-западная часть области) пробы зеленых мхов отобраны на двух мониторинговых площадках постоянного наблюдения: в сосняке лишайниково-бруснично-зеленомошном (в окрестностях п. Янискоски) и в березняке разнотравном (в долине р. Паз, вблизи острова Варлама). Всего обследовано 9 пробных площадей, на каждой из которых зеленые мхи отобраны в 3–5-кратной повторности в межкрупных и подкрупных пространствах.

В лабораторных условиях отделяли текущий прирост зеленых мхов от многолетней части. У *Hylocomium splendens* годичный прирост легко дифференцируется благодаря этажно расположенным облиственным побегам. При разделении *Pleurozium schreberi* годичный прирост принимали, согласно литературным данным, равным 20 % от живой надземной массы [7]. Результаты исследований, проведенных на Кольском полуострове, свидетельствуют о мало различающихся величинах линейных приростов у *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* в схожих условиях в разные годы [22]. Возраст многолетних побегов, взятых на анализ, не превышал 3 лет. После разделения на возрастные классы зеленые мхи высушивали, взвешивали и размалывали в равной пропорции. Содержание химических элементов в растительных образцах определяли после разложения концентрированной азотной кислотой (мокрое озоление). Металлы (Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn) в образцах определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии, К – атомно-эмиссионной спектрометрии на спектрофотометре атомно-абсорбционном ААС-360, Р – фотоколориметрическим методом по интенсивности окраски фосфорно-молибденового комплекса (метод Лоури – Лопеса), S – турбидиметрическим методом, N – по методу Къельдаля, С – по методу Тюрина. Математическую обработку данных проводили с помощью общепринятых статистических методов с использованием пакета программ Microsoft Excel 6.0. Проведена оценка достоверности различия средних значений с использованием непараметрических статистических критериев: U-критерия Манна – Уитни (для попарных сравнений) и H-критерия Краскела – Уоллиса (StatSoft, Inc., 2010).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав мхов в природных условиях формирования представлен в табл. 1. Зеленые мхи в исследованных нами типах леса характеризовались сходными особенностями формирования химического состава, и по усредненному содержанию макро- и микроэлементы образуют следующий ряд:

$$C > N > K > Ca > P > Mg > S > Mn > Al > Fe > Zn > Cu > Ni$$

Из минеральных элементов в зеленых мхах нарушенных сообществ преобладает азот, калий, кальций и фосфор. Фоновые концентрации Ni и Cu не превышают 3 и 7 мг/кг соответственно.

Изучение зеленых мхов в разных типах леса свидетельствует о закономерностях в поглощении и аккумуляции некоторых элементов минерального питания. Так, в количественном отношении в березняке разнотравном в зеленых мхах отмечено более высокое содержание азота ( $H_{2,41} = 8,0$ ,  $p < 0,02$ ), калия ( $H_{2,41} = 12,1$ ,  $p < 0,002$ ), фосфора ( $H_{2,41} = 22,8$ ,  $p < 0,000$ ) по сравнению с исследуемыми ельниками кустарничково-зеленомошными

и сосняками лишайниково-кустарничково-зеленомошными. Напротив, содержание марганца ( $H_{2,41} = 16,84$ ,  $p < 0,003$ ) ниже в березняках. Сравнительный анализ хвойных лесов показал, что мхи еловых лесов богаты калием ( $U_{15,20} = 73$ ,  $p < 0,01$ ), фосфором ( $U_{15,20} = 46$ ,  $p < 0,001$ ), магнием ( $U_{15,20} = 87$ ,  $p < 0,04$ ), сосновые – железом ( $U_{6,35} = 57$ ,  $p < 0,003$ ) и алюминием ( $U_{6,35} = 76$ ,  $p < 0,02$ ). Максимальные концентрации углерода в зеленых мхах наблюдаются в сосновых лесах ( $H_{2,41} = 21,4$ ,

$p < 0,000$ ), которые характеризуются также наиболее широкими соотношениями C/N ( $H_{2,41} = 21,8$ ,  $p < 0,000$ ). Показатель C/N определяет участие азота в процессах трансформации и формирования органического вещества почвы. Процессы деструкции и скорость биологического круговорота протекают более интенсивно, чем уже соотношения C/N. В нашем случае минимальными значениями показателя C/N (15–37) характеризуются зеленые мхи березняка разнотравного.

Таблица 1

Элементный состав зеленых мхов (текущий прирост) в подкروновых и межкروновых пространствах в различных типах леса, данные 2007 года

Элемент, единицы измерения	Фон		Заповедник «Пасвик»	
	Сосняк лишайниково-зеленомошно-кустарничковый	Ельник кустарничково-зеленомошный	Березняк разнотравный	Сосняк лишайниково-бруснично-зеленомошный
C, %	$52,1 \pm 2,0$ $60,7 \pm 3,7$	$41,9 \pm 1,1$ $43,3 \pm 1,7$	$42,4 \pm 1,6$ $40,5 \pm 1,9$	$46,4 \pm 2,0$ $47,6 \pm 2,8$
N, г/кг	$10,7 \pm 1,2$ $11,2 \pm 0,6$	$10,2 \pm 0,8$ $13,8 \pm 1,1$	$13,5 \pm 1,8$ $26,0 \pm 1,6$	$10,5 \pm 2,6$ $9,1 \pm 1,0$
K, г/кг	$7,8 \pm 0,4$ $6,6 \pm 0,6$	$7,6 \pm 0,5$ $9,6 \pm 0,4$	$10,2 \pm 0,2$ $10,4 \pm 0,4$	$6,0 \pm 0,4$ $6,3 \pm 0,3$
Ca, г/кг	$2,9 \pm 0,2$ $3,2 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,1$ $3,2 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,2$ $2,8 \pm 0,1$	$2,5 \pm 0,1$ $2,5 \pm 0,1$
P, г/кг	$1,5 \pm 0,2$ $1,8 \pm 0,1$	$1,9 \pm 0,1$ $2,5 \pm 0,1$	$2,9 \pm 0,0$ $3,3 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,2$ $1,5 \pm 0,1$
Mg, г/кг	$1,2 \pm 0,1$ $1,2 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,2$ $1,5 \pm 0,1$	$2,2 \pm 0,1$ $2,2 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,1$ $1,2 \pm 0,0$
S, мг/кг	$775 \pm 61$ $1013 \pm 43$	$759 \pm 40$ $951 \pm 32$	$985 \pm 23$ $1207 \pm 5$	$729 \pm 13$ $856 \pm 40$
Mn, мг/кг	$689 \pm 66$ $720 \pm 45$	$732 \pm 68$ $883 \pm 87$	$322 \pm 14$ $218 \pm 12$	$418 \pm 30$ $546 \pm 40$
Al, мг/кг	$245 \pm 47$ $247 \pm 48$	$79 \pm 9$ $113 \pm 11$	н. о.	н. о.
Fe, мг/кг	$194 \pm 45$ $214 \pm 57$	$43 \pm 3$ $63 \pm 5$	$21 \pm 5$ $26 \pm 3$	$15 \pm 5$ $21 \pm 1$
Zn, мг/кг	$33 \pm 4$ $34 \pm 2$	$38 \pm 4$ $48 \pm 3$	$43 \pm 3$ $73 \pm 4$	$23 \pm 1$ $26 \pm 1$
Cu, мг/кг	$6,7 \pm 0,8$ $6,2 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,5$ $6,7 \pm 0,5$	$11,8 \pm 1,1$ $16,0 \pm 0,8$	$12,3 \pm 0,8$ $14,1 \pm 0,8$
Ni, мг/кг	$1,9 \pm 0,1$ $2,5 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,1$ $2,2 \pm 0,2$	$9,4 \pm 0,5$ $15,6 \pm 2,5$	$4,5 \pm 0,3$ $15,4 \pm 0,8$
C:N	$50,5 \pm 2,5$ $54,5 \pm 2,5$	$43,4 \pm 3,9$ $33,8 \pm 3,1$	$32,7 \pm 4,9$ $15,7 \pm 1,2$	$53,2 \pm 1,6$ $47,6 \pm 2,9$

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3 приведены средние значения ( $\pm$  стандартная ошибка). Над чертой – межкروновые пространства, под чертой – подкروновые; н. о. – не определяли.

Известно, что химические элементы распределяются по органам растения неравномерно. Это может быть обусловлено как аттрагирующей способностью органа (органеллы), так и локальным накоплением в результате перехода в малоподвижную форму [5]. Нами выявлены возрастные закономерности формирования химического состава мхов (табл. 2, 3). Наиболее высокая концентрация подвижных элементов N ( $U_{4,4} = 1$ ,  $p < 0,04$ ), K ( $U_{4,4} = 1$ ,  $p < 0,04$ ), P ( $U_{4,4} = 0$ ,  $p < 0,02$ ) наблюдается в текущем приросте зеленых мхов. Известно, что при старении ассимилирующих органов белки в значительной степени подвер-

жены распаду, а входящий в них азот высвобождается в форме аминокислот и амидов и оттекает в молодые растущие органы, а также в репродуктивные органы при их формировании [20]. Этот факт может обуславливать снижение азота в многолетних органах растений, что ранее было показано нами для ассимилирующих органов хвойных деревьев, в которых уменьшение содержания азота происходило за счет белковой формы [15].

В текущем приросте зеленых мхов отмечено более высокое содержание Mg ( $U_{4,4} = 5$ ,  $p < 0,04$ ) и Cu ( $U_{4,4} = 0$ ,  $p < 0,02$ ). С возрастом в многолетней

части зеленых мхов возрастают концентрации Al ( $U_{4,4} = 5, p < 0,02$ ), Fe ( $U_{4,4} = 0, p < 0,02$ ), Ni ( $U_{4,4} = 0, p < 0,02$ ). Не выявлено достоверных изменений в содержании Ca, Mn и Zn в зависимо-

сти от возраста, хотя отмечена тенденция к снижению данных элементов в многолетней части зеленых мхов. Содержание серы и углерода также достоверно не различается.

Таблица 2

Элементный состав зеленых мхов еловых лесов в зоне воздействия комбината «Североникель» (2012 год), мг кг<sup>-1</sup> абс. сухого вещества

Стадия, км от источника загрязнения	Ca	K	P	Mg	Mn	S	Al	Fe	Zn	Cu	Ni
Побеги текущего года											
Фон, 167	2355 ± 21	7866 ± 584	1946 ± 280	2281 ± 134	867 ± 4	622 ± 1	60 ± 1	40 ± 5	27 ± 1	5,8 ± 0,4	1,2 ± 0,1
Д, 62	3167 ± 103	6849 ± 264	1573 ± 61	1746 ± 25	524 ± 29	1645 ± 30	209 ± 26	127 ± 18	30 ± 1	14,8 ± 0,1	13,6 ± 1,5
Д, 31*	3222 ± 175	7058 ± 147	1911 ± 56	1414 ± 90	812 ± 59	1466 ± 82	124 ± 5	812 ± 59	24 ± 1	39,3 ± 1,0	49,0 ± 3,3
Р, 7	2113 ± 179	5609 ± 515	745 ± 35	622 ± 34	55 ± 7	2108 ± 97	1250 ± 95	1058 ± 89	46 ± 4	700,4 ± 21,5	1549,6 ± 69,8
Многолетние побеги											
Фон, 167	1673 ± 126	4166 ± 414	967 ± 72	664 ± 13	573 ± 44	536 ± 21	177 ± 10	176 ± 9	23 ± 3	3,6 ± 0,2	2,8 ± 0,1
Д, 62	3083 ± 225	4145 ± 74	927 ± 17	947 ± 24	443 ± 13	1393 ± 87	440 ± 56	443 ± 13	35 ± 2	19,4 ± 1,9	29,8 ± 2,5
Д, 31*	3127 ± 258	4872 ± 391	1126 ± 80	758 ± 77	791 ± 23	1234 ± 74	249 ± 18	791 ± 123	106 ± 8	58,4 ± 3,1	106,1 ± 7,6
Р, 7	510 ± 82	2066 ± 213	772 ± 39	459 ± 38	46 ± 7	2202 ± 228	4703 ± 356	2544 ± 320	34 ± 4	2348,5 ± 338,2	2588,1 ± 601,5

Примечание. Здесь и в табл. 3: Ф – фон, Д – дефолирующие леса, Р – техногенное редколесье. \* – Лапландский государственный природный биосферный заповедник.

Таблица 3

Содержание азота (N) и углерода (C) в зеленых мхах в процессе техногенной дигрессии ельников кустарничково-зеленомошных, 2012 год

Стадия, км от источника загрязнения	C, %		N, г/кг
	Побеги текущего года		
Фон, 167	40,6 ± 0,4		11,9 ± 1,7
Д, 62	44,0 ± 0,9		7,1 ± 0,2
Д, 31*	44,0 ± 1,1		7,6 ± 0,5
Р, 7	51,9 ± 2,7		13,2 ± 1,5
Многолетние побеги			
Фон, 167	44,7 ± 1,3		7,9 ± 0,2
Д, 62	43,1 ± 1,0		5,7 ± 0,3
Д, 31*	51,2 ± 5,6		5,5 ± 0,3
Р, 7	51,5 ± 4,0		10,3 ± 0,9

В процессе техногенной дигрессии лесов содержание большинства химических элементов в зависимости от возраста зеленых мхов сходно с фоновым распределением: максимум N, K, P, Mg отмечен в текущем приросте, Al, Fe, Ni – в многолетних органах. При этом изменяется лишь абсолютное содержание элементов минерального питания. Медь, в отличие от фоновых условий, аккумулируется не в текущем приросте, а в многолетних органах зеленых мхов.

Сравнение химического состава зеленых мхов сосняков показало (см. табл. 1), что, несмотря на значительную удаленность заповедника «Пасвик» – 73 км от источника выбросов (комбината

«Печенганикель», пгт. Никель Мурманской обл.), концентрации Ni ( $U_{4,4} = 0, p < 0,02$ ) и Cu ( $U_{4,4} = 0, p < 0,02$ ) превышают фоновые значения в 2–6 раз. Концентрация остальных элементов минерального питания в зеленых мхах на территории заповедника сопоставима с фоновым содержанием, за исключением марганца и железа, содержание которых достоверно ниже фоновых показателей ( $U_{4,4} = 0, p < 0,01$ ).

Выявлены парцеллярные различия в элементном составе зеленых мхов, произрастающих в подкروновых и межкروновых пространствах. Наибольшие изменения в химическом составе зеленых мхов наблюдаются в ельниках кустарничково-зеленомошных и березняке разновозрастного (см. табл. 1). Под кроной ели ненарушенных фитоценозов в зеленых мхах возрастает концентрация N ( $U_{12,8} = 0, p < 0,02$ ), K ( $U_{12,8} = 10, p < 0,003$ ), P ( $U_{12,8} = 6, p < 0,001$ ), Ca ( $U_{12,8} = 10, p < 0,003$ ), S ( $U_{12,8} = 9, p < 0,003$ ), Zn ( $U_{12,8} = 22, p < 0,04$ ). В березняках в древесных парцеллах увеличивается содержание N ( $U_{3,3} = 0, p < 0,05$ ), S ( $U_{3,3} = 0, p < 0,05$ ), Mn ( $U_{3,3} = 3, p < 0,02$ ), Zn ( $U_{3,3} = 0, p < 0,05$ ), Cu ( $U_{3,3} = 0, p < 0,05$ ), Ni ( $U_{3,3} = 0, p < 0,05$ ). В сосновых лесах достоверные парцеллярные различия выявлены только для S ( $U_{10,10} = 6, p < 0,02$ ) и Ni ( $U_{10,10} = 6, p < 0,02$ ), концентрация которых возрастает в подкroновых пространствах. Таким образом, дополнительным источником элементов минерального питания становятся элементы, вымываемые осадками из кроны деревьев и напочвенных растений (кустарничков).

Трансформация химического состава зеленых мхов по сравнению с фоновыми показателями наблюдается на всех пробных площадях по градиенту загрязнения (см. табл. 2). Наши данные подтверждают сведения о том, что зеленые мхи, как и лишайники [16], весьма чувствительны к изменениям окружающей среды и в большом количестве накапливают тяжелые металлы. Так, среднее содержание Al и тяжелых металлов (Fe, Ni, Cu) в зеленых мхах техногенно нарушенных территорий многократно превышает региональный фон. Коэффициенты концентрации (Кс) позволяют определить уровень загрязнения в результате атмосферного переноса поллютантов от источников выбросов и рассчитываются как отношение концентрации элемента в исследуемом объекте при техногенной нагрузке к среднефоновому содержанию, то есть в нашем случае в мхах, произрастающих в условиях регионального фона.

Аномальными считаются концентрации, Кс которых равен или больше 1,5 [4]. По величине коэффициента концентрации, содержания никеля и меди в зеленых мхах на территории, подверженной загрязнению, определяются как аномальные ( $K_c \geq 1,5$ ). Максимальный уровень накопления никеля ( $K_c \geq 1316$ ) выявлен в текущем приросте зеленых мхов, а меди ( $K_c \geq 652$ ) – в многолетних побегах на стадии техногенного редколесья. В дефолирующих лесах Кс алюминия варьирует в пределах 1,3–3,0, в техногенном редколесье – 20,2–30,1, Кс железа – в 2,5–20,6 и 14,5–26,5 соответственно. Ранее нами отмечались аномально высокие концентрации элементов-загрязнителей в условиях атмосферного воздействия и у других представителей биоты – хвойных деревьев, кустарничков, лишайников [6], [15], [16]. Но зеленые мхи по аккумулирующей способности могут превосходить даже таких известных концентраторов загрязняющих веществ, какими являются лишайники [17].

Высокая аккумулирующая способность мхов связана с тем, что на поверхности этих растений может происходить катионный обмен: основные катионы, входящие в состав зеленых мхов, могут обмениваться на катионы тяжелых металлов, то есть мхи действуют подобно искусственным ионообменникам [23]. Эти растения выполняют важную роль в формировании питательного режима бореальных лесов и создают своеобразный экран, эффективно поглощающий и надолго задерживающий элементы питания, поступающие из атмосферы [9].

Среднее содержание серы в зеленых мхах фоновых районов варьирует в диапазоне 408–785 мг/кг в текущем приросте и 367–972 мг/кг в многолетних органах. В условиях атмосферного загрязнения концентрация серы значительно превышает фоновые значения. В дефолирующих лесах Кс варьирует в пределах 2,0–2,6, в техногенных редколесьях – 3,2–4,1.

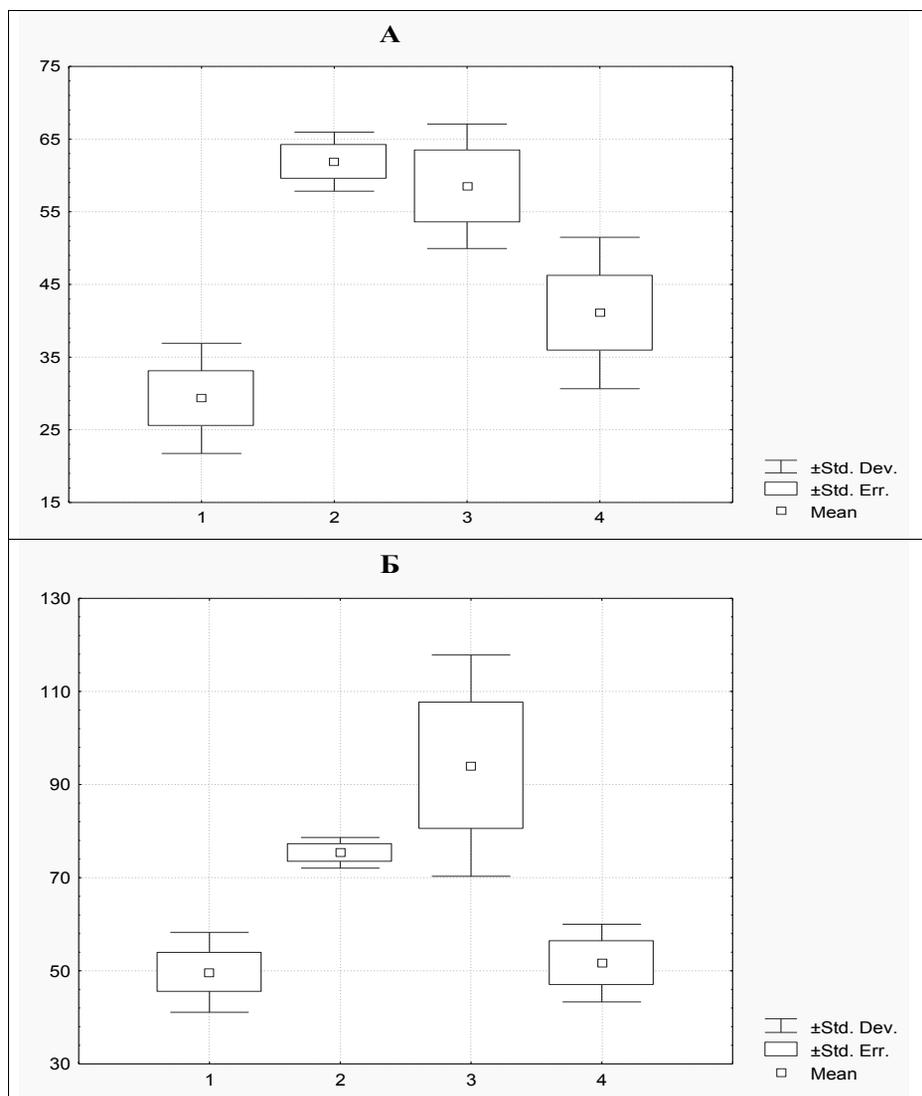
По градиенту атмосферного загрязнения в зеленых мхах изменяются концентрации Са ( $H_{3,20} = 10,4, p < 0,02$ ), Mn ( $H_{3,20} = 13,1, p < 0,004$ ), Р ( $H_{3,20} = 11,3, p < 0,01$ ). На стадии дефолирующих лесов, в том числе на пробной площади в Лапландском заповеднике, содержание кальция в зеленых мхах выше фоновых показателей. Ранее увеличение концентрации Са на данной стадии было выявлено в лишайнике *Cladonia stellaris* при одновременном снижении концентрации доступных форм соединений Са в почве [16]. Повышение содержания кальция в талломах лишайников и зеленых мхах, скорее всего, связано с атмосферным поглощением. Известно, что основными механизмами аккумуляции зелеными мхами минеральных элементов из окружающей среды являются поглощение элементов надземными органами с их поступлением путем обменной диффузии в симпласт клеток и поглощение минеральных элементов из субстрата с помощью ризоидов. Содержание азота в зеленых мхах на стадиях дефолирующих лесов, напротив, снижается, что может объясняться антагонизмом между Са и N. В дефолирующих лесах соотношение C/N в зеленых мхах значительно выше фоновых показателей (рисунок), а это свидетельствует о том, что процессы деструкции мхов после отмирания замедлены.

В техногенном редколесье содержание углерода и азота в зеленых мхах, напротив, возрастает. Скорее всего, увеличение азота в мхах на данной стадии происходит за счет небелковой формы и является адаптационной реакцией растения на высокий уровень эмиссионной нагрузки. Увеличение небелкового азота на данной стадии отмечено для ели сибирской в хвое как текущего года, так и старших возрастных классов [15]. Установлено, что синтез белковых соединений на данных стадиях заторможен. Увеличение содержания углерода в зеленых мхах в дефолирующих лесах (31 км от источника загрязнения, Лапландский заповедник) и редколесье (см. табл. 3) может быть связано с накоплением в растениях вторичных метаболитов [9].

На стадии техногенного редколесья концентрация Са снижается в 3,3 раза в многолетней части мхов, а в текущем приросте остается сопоставимой с фоновым уровнем. В непосредственной близости от локального источника загрязнения выявлено достоверное ( $p < 0,05$ ) снижение концентрации К, Р, Mg, Mn.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования позволили выявить особенности химического состава зеленых мхов, произрастающих в различных типах леса. В березняке содержание подвижных макроэлементов N, P, K в зеленых мхах значительно выше, чем в ельниках и сосняках. Сравнительный анализ хвойных лесов показал, что мхи еловых лесов содержат больше K, P, Mg, а сосновые – C, Fe, Al.



Соотношение C:N в текущем приросте (А) и многолетней части (Б) зеленых мхов в процессе техногенной дигрессии ельников кустарничково-зеленомошных: 1 – фон; 2, 3 – дефолирующие леса (62 и 31 км от источника соответственно); 4 – редколесье

Установлены парцеллярные различия в химическом составе зеленых мхов подкروновых и межкروновых пространств. Наибольшие изменения в химическом составе зеленых мхов древесных парцелл наблюдаются в ельниках кустарничково-зеленомошных и березняке разнотравном. В еловой парцелле ненарушенных фитоценозов в зеленых мхах возрастает концентрация N, P, Ca, S, Zn. Под кроной березы отмечено более высокое содержание N, S, Mn, Zn, Cu, Ni. Таким образом, дополнительным источником элементов минерального питания для зеленых мхов становятся элементы, вымываемые осадками из кроны деревьев и растений напочвенного покрова.

В процессе техногенной дигрессии лесных экосистем выявлены аномально высокие уровни накопления Al и тяжелых металлов (Fe, Cu, Ni)

в зеленых мхах, при этом никель аккумулируется более интенсивно, чем медь. Максимальные уровни накопления никеля и меди выявлены в многолетних побегах зеленых мхов.

В зеленых мхах на территории Лапландского государственного природного биосферного заповедника концентрации S, Al, Fe, Cu, Ni значительно превышают фоновые показатели.

На территории государственного природного заповедника «Пасвик», который значительно удален от источника атмосферного загрязнения, в зеленых мхах выявлено повышенное содержание никеля и меди, что свидетельствует о дальности переноса этих загрязнителей. Концентрация остальных элементов минерального питания на территории заповедника сопоставима с фоновым содержанием, за исключением марганца и железа, что позволяет использовать

территорию заповедника как контрольную при проведении оценки состояния лесных экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов.

Полученные результаты показали значительное пространственное варьирование химического состава зеленых мхов, которое опре-

деляется типом растительного сообщества, внутробиогенотическими (парцеллярными) варьированием и степенью техногенной трансформации лесных экосистем. Способность накапливать химические элементы определяется также возрастом ассимилирующих органов зеленых мхов.

\* Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания по теме № 0233-2015-0004 «Динамика восстановления биоразнообразия и функций наземных экосистем Субарктики в условиях комбинированного действия природных и антропогенных факторов».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений / Пер. с англ. И. Н. Михайловой. М.: ГЕОС, 2005. 457 с.
2. Большунова Т. С., Риханов Л. П., Барановская Н. В. К вопросу о выборе фоновых концентраций химических элементов в лишайниках-эпифитах // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 9. С. 33–45.
3. Васильева Н. П. Мониторинг северотаежных лесов для оценки экологической ситуации при аэротехногенном загрязнении в субарктическом регионе // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2015. № 26. С. 94–108.
4. Геохимия окружающей среды / Под ред. Ю. Е. Саега, Б. А. Ревич, Е. П. Янина и др. М.: Недра, 1990. 334 с.
5. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растения. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
6. Исаева Л. Г., Сухарева Т. А. Элементный состав дикорастущих кустарничков в зоне воздействия комбината «Североникель»: данные многолетнего мониторинга // Цветные металлы. 2013. № 10. С. 86–92.
7. Левина В. И. Определение массы ежегодного опада в двух типах соснового леса на Кольском полуострове // Ботанический журнал. 1960. Т. 45. № 8. С. 418–423.
8. Лукина Н. В., Никонов В. В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты / Отв. ред. Л. О. Карпачевский. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1998. 316 с.
9. Лукина Н. В., Сухарева Т. А., Исаева Л. Г. Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
10. Московченко Д. В., Валеева Э. И. Содержание тяжелых металлов в лишайниках на севере Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2011. № 11. С. 162–172.
11. Никонов В. В., Лукина Н. В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 315 с.
12. Осипов А. Ф., Манова С. О., Бобкова К. С. Запасы и элементный состав растений напочвенного покрова в среднетаежных сосняках послепожарного происхождения (Республика Коми) // Растительные ресурсы. 2014. Т. 50. Вып. 1. С. 3–11.
13. Рассеянные элементы в бореальных лесах / Под ред. А. С. Исаева. М.: Наука, 2004. 616 с.
14. Рогова Н. С., Рыжакова Н. К., Борисенко А. Л., Меркулов В. Г. Изучение аккумуляционных свойств мхов, используемых при мониторинге загрязнения атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 1. С. 79–83.
15. Сухарева Т. А. Динамика содержания азота в хвое ели сибирской в условиях воздушного промышленного загрязнения // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2014. № 3. С. 102–105.
16. Сухарева Т. А. Элементный состав талломов лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 70–82. DOI: 10.17076/eco259.
17. Сухарева Т. А. Использование зеленых мхов и лишайников при оценке состояния лесных экосистем в естественных и антропогенно-нарушенных условиях // Биодиагностика природных и природно-техногенных систем: Материалы XV Всероссийской научно-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров: ВятГУ, 2017. С. 205–208.
18. Тарханов С. Н., Бирюков С. Ю. Реакция листовых мхов на воздействие аэротехногенного загрязнения в условиях северной тайги бассейна Северной Двины // Лесной вестник. 2013. № 3 (95). С. 40–44.
19. Черненькова Т. В., Королева Н. Е., Боровичев Е. А., Мелехин А. В. Изменение организации лесного покрова макросклонов к озеру Имандра в условиях техногенного загрязнения // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 12. С. 3–24. DOI: 10.17076/eco251.
20. Чернобровкина Н. П. Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
21. Шмакова Н. Ю., Ермолаева О. В. Рост и накопление массы *Polytrichum commune* в лесном поясе Хибин // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 6 (167). С. 38–44.
22. Ermolaeva O. V., Shmakova N. Yu., Lukyanova L. M. On the growth of *Polytrichum*, *Pleurozium* and *Hylocomium* in the forest belt of the Khibiny Mountains // J. Bryology. 2013. Vol. 22. P. 7–14.
23. Rühling A., Tyler G. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* // Oikos. 1970. Vol. 21. P. 92–97.
24. Shotbolt L., Bükер P., Ashmore M. Reconstructing temporal trends in heavy metal deposition: Assessing the value of herbarium moss samples // Environ. Pollut. 2007. Vol. 147. № 1–3. P. 120–130.
25. Steinnes E. Arctical evaluation of the use of natural growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals // Int. Symp., Ecol. Eff. Arct. Airborne Contam, Rekjavik, 4–8 Oct., 1993. Sci. Total Environ. 1995. № 1–3. P. 243–249.

Sukhareva T. A., Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences” (Apatity, Russian Federation)

### THE GREEN MOSS ELEMENTAL COMPOSITION OF THE BACKGROUND AND INDUSTRIALLY DISTURBED AREAS

Data on the chemical composition of green mosses – *Pleurozium schreberi* and *Hylocomium splendens* in the forest ecosystems of Murmansk Region, including the territory of protected natural territories – Lapland Biosphere Reserve and Pasvik Strict Nature Reserve were presented. The chemical composition of green mosses in the forests of different types was revealed. The content of mobile macronutrients N, P, K in green mosses is significantly higher in birch forests than in spruce and pine forests. Differences in the elemental composition of mosses growing in the crown protected areas and between crowns were detected. The highest concentration of mobile elements N, K, P, Mg, Cu was observed in current increments; Al, Fe, Ni – in the long-lived shoots. The most significant changes were revealed in the chemical composition of the green moss growing in crown protected areas of spruce forests and birch forests rich in herbs. The background concentration of Ni and Cu in green mosses do not exceed 3 and 7 mg/kg, respectively. The concentration of heavy metals (Al, Fe, Ni, Cu) and sulfur in green mosses was increased according to the pollution gradient. In close proximity to the local source of pollution, in sparse forests, the concentration of CA, K, P, Mg, Mn was significantly lower against the background levels. At the same time, the content of carbon and nitrogen was increased.

Key words: *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, background concentrations, natural and technogenic factors, northern taiga forests

\* The research was supported by the funds from the Federal budget sources within the framework of the state assignment № 0233-2015-0004 “Dynamics of the biodiversity restoration and the functions of terrestrial ecosystems of Subarctic in conditions of natural and anthropogenic factors’ impact”.

#### REFERENCES

- Bargal'i R. Biogeochemistry of terrestrial plants. Translated from English I. N. Mikhailova. Moscow, 2005. 457 p. (In Russ.)
- Bol'shunova T. S., Rihanov L. P., Baranovskaja N. V. On the issue of choosing the background concentrations of chemical elements in the epiphytic lichens. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 326. № 9. P. 33–45. (In Russ.)
- Vasil'eva N. P. Monitoring of the Northern taiga forests to assess ecological situation from air technogenic pollution in the subarctic region. *Strategiya ustoychivogo razvitiya regionov Rossii*. 2015. № 26. P. 94–108. (In Russ.)
- Geochemistry environmental environment. Ed. J. E. Saet, B. A. Revich, E. P. Yanin and al. Moscow, 1990. 334 p. (In Russ.)
- Il'in V. B. Heavy metals in the system of soil-plants. Novosibirsk, 1991. 151 p. (In Russ.)
- Isaeva L. G., Sukhareva T. A. The elemental composition of wild shrubs in the impact zone of “Severonikel”: data on the long-term monitoring. *Non-ferrous metals*. 2013. Vol. 10. P. 86–92. (In Russ.)
- Levina V. I. Determination of the mass of the annual litter in two types of pine forests on Kola Peninsula. *Botanicheskiy zhurnal*. 1960. Vol. 45. № 8. P. 418–423. (In Russ.)
- Lukina N. V., Nikonov V. V. Nutritional regime of Northern taiga forests: natural and technogenic aspects. Ed. L. O. Karpachevskij. Apatity, 1998. 316 p. (In Russ.)
- Lukina N. V., Sukhareva T. A., Isaeva L. G. Pollution-induced digressions and rehabilitation successions in Northern Taiga forests. Ed. L. O. Karpachevskij. Moscow, 2005. 245 p. (In Russ.)
- Moskovchenko D. V., Valeeva E. I. Content of heavy metals in lichens in the North of Western Siberia. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. 2011. № 11. P. 162–172. (In Russ.)
- Nikonov V. V., Lukina N. V. Biogeochemical functions of forests at the Northern limit of distribution. Apatity, 1994. 315 p. (In Russ.)
- Osipov A. F., Manova S. O., Bobkova K. S. Reserves and element composition in ground cover plants in the pine forests of post-fire origin (the Komi Republic). *Rastitel'nye resursy*. 2014. Vol. 50. Issue 1. P. 3–11. (In Russ.)
- Trace elements in boreal forests. Ed. A. S. Isaev. Moscow, 2004. 616 p. (In Russ.)
- Rogova N. S., Ryzhakova N. K., Borisenko A. L., Merkulov V. G. The study of the accumulative properties of mosses used to monitor atmospheric pollution. *Optika atmosfery i okeana*. 2011. Vol. 24. № 1. P. 79–83. (In Russ.)
- Sukhareva T. A. Dynamics of nitrogen content in the needles of Norway spruce under conditions of industrial air pollution. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. № 3. P. 102–105. (In Russ.)
- Sukhareva T. A. Element composition of lichen of *Cladonia stellaris* under air pollution. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2016. № 4. P. 70–82. (In Russ.). DOI: 10.17076/eco259.
- Sukhareva T. A. The use of green mosses and lichens in the assessment of forest ecosystems under natural and anthropogenically disturbed conditions. *Proc. XV Russian conference with international participation “Biodiagnostics natural and natural-technogenic systems”*. Kirov, 2017. Book 1. P. 205–208. (In Russ.)
- Tarhanov S. N., Birjukov S. Ju. The reaction of moss on the impact of air pollution under conditions of Northern taiga in the basin of the Northern Dvina. *Lesnoy vestnik*. 2013. № 3 (95). P. 40–44. (In Russ.)
- Chernen'kova T. V., Koroleva N. E., Borovichev E. A., Melehin A. V. The change of the forest cover on the slopes oriented towards lake Imandra under industrial pollution. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2016. № 12. P. 3–24. (In Russ.). DOI: 10.17076/eco251.
- Chernobrovkina N. P. Ecophysiological features of the nitrogen use by Scots pine. St. Petersburg, 2001. 175 p. (In Russ.)
- Shmakova N. Yu., Ermolaeva O. V. The growth and mass accumulation of Polytrichum commune in Khibiny Mountains forest belt. *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2017. № 6 (167). P. 38–44. (In Russ.)
- Ermolaeva O. V., Shmakova N. Yu., Lukyanova L. M. On the growth of Polytrichum, Pleurozium and Hylocomium in the forest belt of the Khibiny Mountains. *J. Bryology*. 2013. Vol. 22. P. 7–14.
- Ruhling A., Tyler G. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens*. *Oikos*. 1970. Vol. 21. P. 92–97.
- Shotbolt L., Bucker P., Ashmore M. Reconstructing temporal trends in heavy metal deposition: Assessing the value of herbarium moss samples. *Environ. Pollut.* 2007. Vol. 147. № 1–3. P. 120–130.
- Steinnes E. Arctic evaluation of the use of natural growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals. *Int. Symp., Ecol. Eff. Arct. Airborne Contam., Rekjajvik, 4–8 Oct., 1993. Sci. Total Environ.* 1995. № 1–3. P. 243–249.

Поступила в редакцию 02.11.2017

**НАДЕЖДА СТЕПАНОВНА ЧЕРЕПАНОВА**

научный сотрудник лаборатории сырьевых ресурсов и прогнозирования Северного научно-исследовательского института рыбного хозяйства, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*nccherepanova@mail.ru*

**ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ ШИРОКОВ**

научный сотрудник лаборатории популяционной экологии лососевых рыб, исполняющий обязанности директора Северного научно-исследовательского института рыбного хозяйства, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*shirokov@research.karelia.ru*

**АНДРЕЙ ПАВЛОВИЧ ГЕОРГИЕВ**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*a-georgiev@mail.ru*

**ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ И ПРОМЫСЛА ЛЕЩА (*ABRAMIS BRAMA* L.)  
В НЕКОТОРЫХ ОЗЕРАХ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ**

Рыбные ресурсы внутренних водоемов Карелии используются крайне неравномерно. В озерах и водохранилищах интенсивно облавливаются ценные виды (озерный лосось, озерная форель, паля, озерно-речные и озерные сиги, судак), в то время как почти повсеместно недоиспользуют запасы леща, плотвы, окуни, ерша и других мелкочастиковых рыб. В выполненной работе в рамках прогнозируемых тематик (СевНИОРХ, СевНИИРХ ПетрГУ) впервые оценивается состояние популяций леща на ряде рыбопромысловых водоемов Республики Карелия (озера Онежское, Ладожское, Сязозеро и водохранилища Выгозерское и Водлозерское). В задачи исследования входило: изучить размерно-весовой, возрастной состав и возраст полового созревания леща; рассчитать его численность и биомассу на современном этапе; разработать основные стратегии его рационального использования. Приведены расчеты показателей численности и биомассы леща, что необходимо для объективного решения вопроса регулирования рыболовства и прогнозирования его вылова на современном этапе. Из полученных данных сделан вывод о том, что запасы леща в настоящее время эксплуатируются в основном за счет половозрелых особей в пределах допустимых величин. Но, несмотря на это, следует строго регламентировать и контролировать интенсивность его промысла с учетом того, что лещ относится к рыбам с длительным жизненным циклом, требующим особого внимания при изменении интенсивности промысла.

Ключевые слова: лещ, Карелия, промысел, биология, численность, биомасса

Проблема разнообразия жизненных стратегий рыб интенсивно разрабатывается в последние десятилетия в разных аспектах [16], [18], [19], [22], [23]. Основной задачей рыбохозяйственной науки в области ресурсных исследований является обеспечение государственных управляющих и регулирующих органов информацией о состоянии рыбных запасов и величинах допустимых уловов водных биоресурсов для адаптивного управления. При этом основное внимание уделяется ценным в экономико-рыбохозяйственном отношении осеннерестующим семействам рыб (лососевые, сиговые), тогда как относительно малоценные, в частности семейство карповые (весенний нерест), остаются малоизученными. Между тем роль

весеннерестующих видов рыб в уловах на водоемах республики в последнее время возрастает [15]. В этой связи исследование леща как основного представителя карповых видов рыб на современном этапе является достаточно востребованным.

Цель настоящей работы – оценить состояние популяций леща на основных рыбопромысловых водоемах Республики Карелия.

В задачи исследования входило:

- изучить размерно-весовой, возрастной состав и возраст полового созревания леща;
- рассчитать его численность и биомассу на современном этапе;
- разработать основные стратегии его рационального использования.

Материалом для исследований послужили выборки леща, полученные в ходе полевых ихтиологических сборов авторов, а также промысловых уловов рыбодобытчиков в основных рыбопромысловых водоемах Карелии, в местах приемки (рыбопункты) и хранения (холодильники) рыбы. При оценке величины запасов и возможного вылова использовались методические руководства<sup>1</sup> и положения ФГУП «ВНИРО» [1]. Камеральная обработка ихтиологических материалов выполнена по общепринятым методикам [10], [17]. При достаточности и относительной объективности текущих промыслово-статистических и ихтиологических материалов по конкретному виду ис-

пользована расчетная методика. Она базируется на одновидовом анализе виртуальных популяций (VPA) с помощью уравнений динамики состояния промыслового вида, предложенного Поупом и названного когортным анализом [11], [17], [20], [21].

**Лещ** (*Abramis brama* L.) обитает более чем в 280 озерах Карелии, в основном в южных и средних районах республики, на севере он редок [3], [5]. Основными водоемами по объемам его вылова являются Ладожское озеро, Онежское озеро, Выгозерское и Водлозерское водохранилища и Сямозеро. Водоемы отличаются между собой по ряду гидрологических показателей<sup>2</sup> (табл. 1).

Таблица 1

Основные гидрологические показатели озер

Водоем	Площадь, км <sup>2</sup>	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Объем водных масс, км <sup>3</sup>	Длина береговой линии, км	Глубина, м		Прозрачность (сред.), м
					ср.	макс.	
Ладожское озеро	17 700	258 600	838	1 570	51	230	3
Онежское озеро	9 720	62 800	295	1 810	30	127	4
Выгозерское вдхр	1 140	19 080	7	658	6	25	2
Водлозерское вдхр	322	5 280	1	232	3	16	2
Сямозеро	266	1 580	2	159	7	25	3

По типу питания лещ является типичным бентофагом, потребляющим в основном донных беспозвоночных (личинки насекомых, моллюски, черви, ракообразные). Строение рта дает возможность лещу добывать пищу из грунта до глубины 5–10 см. Крупный лещ может поедать молодь рыб, зоопланктон. Активность леща приходится

на период с 4 до 13 часов, в дневное время рыба менее активна (14–20 часов), и вновь возрастает в вечерние часы (21–22 часа) [14]. Уловы леща за многолетний период (1950–2010 годы) колебались в значительных пределах от 200 до 350 т. За последние годы (2011–2015) они составили в среднем 93 т (табл. 2).

Таблица 2

Уловы леща в некоторых водоемах Карелии, по данным СевНИОРХ и СевНИИРХ ПетрГУ, т

Годы	Онежское озеро	Ладожское озеро	Выгозерское вдхр	Водлозерское вдхр	Сямозеро
1950–1955	54,3	25,7	69,5	49,1	6,4
1956–1960	50,0	23,6	57,1	38,2	2,9
1961–1965	31,3	12,8	51,0	26,6	6,9
1966–1970	19,9	9,5	27,8	25,8	6,3
1971–1975	35,6	12,8	30,9	43,9	2,8
1976–1980	38,6	10,7	38,4	36,3	5,1
1981–1985	31,5	16,3	32,6	38,8	2,6
1986–1990	26,3	29,7	41,8	55,8	3,9
1991–1995	8,1	13,1	16,6	10,6	2,2
1996–2000	13,3	6,4	10,6	6,4	0,9
2001–2005	40,7	13,8	18,6	19,2	1,0
2006–2010	46,7	32,2	3,0	24,8	1,7
2011–2015	34,1	39,1	1,9	17,4	0,5
Среднемноголетний вылов, т	33,1	18,9	30,7	25,4	3,3

**Лещ северной (карельской) части Ладожско-го озера** относится к числу важных промысловых рыб водоема. Он распространен повсеместно, но наибольшие его концентрации наблюдаются в шхерном районе, по Питкярантскому берегу, в заливах Салминском, Ууксинском, Ухтинском, в акваториях островов Мансинсаари и Лункулансаари. Он обычен для уловов в предустьевых участках рек Хиитола и Куркиеки, у о-ва Хейнясенсаари и в Лахденпохском заливе. Основная масса леща при промышленном и любительском вылове (до 90–95 %) приходится на крупноячейные сети (ячей не менее 60 мм), меньшая часть улова (5–10 %) падает на ставные невода и заколы. Однако в общем объеме рыбодобычи на его долю приходится 1,5–3,0 % рыбопродукции. Специального промышленного лова леща нет: он попадает в качестве прилова при ловле судака и сига в выставленные для этих рыб сети. Самый крупный экземпляр был выловлен в марте 1976 года – длиной 56,5 см и массой 5,7 кг. По нашим наблюдениям, средний размер из уловов колеблется от 35,0 до 38,0 см, масса – от 1,1 до 1,4 кг. В сетных уловах представлен довольно значительным количеством возрастных групп от 6+ до 19+ с преобладанием 8+...13+ (до 73,5 % улова). Половозрелым в массе становится в 7–9 лет при длине самцов 28,5–33,5 см и массе 400–740 г, самок соответственно 31,0–34,5 см и 600–810 г [4]. Промысловая мера – 30 см. Состояние его запасов в озере не вызывает тревоги и не противоречит возможностям дальнейшей эксплуатации в объемах, предусмотренных при разработке прогнозов.

**Лещ Онежского озера** в основном обитает в заливах и губах: Челмужская, Святуха, Кефтьень, Великая с проливами – Уницкая, Оров-губа, Илем и Горская, а также в Пялемском Онего, Унойских островах, Шальской губе, Логмозере и в участках озера, прилегающих к проливам и рекам Андома, Вытегра, Муромка, Тугозерка. Наиболее плотные концентрации характерны для нерестового периода и приурочены к мелководным, хорошо прогреваемым участкам озера (северо-западная, северо-восточная и южная части) [6]. Ввиду того что участки с устойчивыми термическими условиями в водоеме ограничены, запасы онежского леща незначительны. В рыболовстве на Онежском озере он большого значения не имеет, но относится к промысловым видам, хотя специализированного его лова нет. Уловы леща в Онежском озере в течение длительного периода претерпевали существенные изменения (см. табл. 2). В 1950–1960-е годы среднегодовые уловы леща в озере были наибольшими, достигая максимальной величины 95 т в 1954 году, когда в качестве эксперимента промысловым бригадам разрешили облов нерестовых концентраций. С 1961 по 1990 год среднегодовой вылов его не превышал 38,6 т. С 1991 года происходит сни-

жение вылова до минимальной величины – 8,1 т (1991–1995). На современном этапе (2001–2015) величина уловов, по данным официальной статистики, колеблется от 34,1 до 46,7 т. Снижение вылова за последние годы объясняется низкой интенсивностью промысла, а также неполным учетом выловленной рыбы. Лов осуществляют предприниматели и рыбаки-любители. Промысел регламентируется путем установления запрета на лов в период нереста на основных нерестовых участках. В условиях водоема лещ характеризуется длительным жизненным циклом (до 28 лет), поздним наступлением половой зрелости (10+...12+), медленным линейно-весовым ростом, единично достигая веса 4,5 кг. Основу составляют особи в возрасте 9+...15+ длиной (АД) 25–50 см, массой 0,6–3,0 кг. Исходя из биологических особенностей популяции леща Онежского озера можно рекомендовать следующую стратегию его промысла: возраст вступления в нормальную промысловую эксплуатацию 10–13 лет (возраст массового созревания), длина (АД) 30–36 см, масса 500–800 г; прилов молоди (рыб в возрасте 6–9 лет) возможен в размере их коэффициентов естественной смертности (15 %) [12]. В этой связи промысловая мера леща составляет 30 см. Стабильность размерно-весовой и возрастной структуры популяции леща Онежского озера в течение длительной промысловой эксплуатации свидетельствует о благополучном состоянии его запасов.

**Лещ Выгозерского водохранилища** обитает главным образом в южной и юго-восточной частях водохранилища: Койкиницкий залив, Вянегуба, Самогора, предустьевые участки рек Выг и Вожа, в районе о. Сиговец, в центральной части водохранилища. Основным промысел его ведется в районах Химпески, Вожагора и Петровский ям [8]. В настоящее время, как и ряпушка, он является основной промысловой рыбой водоема. В многолетнем плане вылов леща, не считая последних лет, колеблется от 27,8 (1966–1970) до 69,5 т (1950–1955) (см. табл. 2). Среднегодовой вылов составляет 30,7 т. Начиная с 1991 года уловы плавно снижались и к 2006–2015 годам составили 1,9–3,0 т. Причиной столь резкого падения уловов является отсутствие постоянного промысла в условиях современной законодательной базы (осуществление промысла на РПУ и др.). Самые крупные особи достигали 2,0 кг. Средняя масса в уловах колеблется от 530 до 890 г, средняя длина (АД) – от 28 до 32 см. В контрольных уловах 2006–2012 годов возрастной состав леща характеризовался присутствием особей от 6+ до 19+ лет, при этом более 60 % – 10+...13+. Средние размерно-весовые показатели леща Выгозера по отдельным годам имеют относительно невысокий диапазон колебаний, что является косвенным показателем удовлетворительного состояния его запасов и во

многим зависит от применяемых орудий лова и организации промысла. В промысловых уловах в последние годы самыми крупными были рыбы в возрасте 15 лет весом до 1,5 кг и длиной (АД) 40 см. Созревание отдельных особей леща наблюдается на 6–7-м году жизни, но большинство половозрелых особей имеют возраст 9–11 лет.

*Лещ Водлозерского водохранилища* представлен двумя экологическими формами – озерной и озерно-речной. Первая, более связанная с южной частью водоема, для нереста концентрируется в отдельных мелководных участках – главным образом в заливах Маткалахта, Вандепольская лахта и др. Вторая нерестится преимущественно в устьевых участках рек (Илекса, Келка, Сомбала), а также заходит в реки и заливы сопутствующих озер (Келкозеро, Лешозеро). Следует отметить, что биологические показатели леща в значительной степени зависят от места и времени взятия проб на анализ, а также экоформ вылавливаемого леща. Причиной может быть селективный сетной промысел (отлов в первую очередь крупных, быстрорастущих и наиболее продуктивных особей), постоянно высокий уровень пополнения леща (хорошие условия воспроизводства). В период 1950–1990-х годов среднегодовой вылов леща колебался от 25,8 до 49,1 т (см. табл. 2). В последующие годы изменялся в пределах 6,4 т (1996–2000) – 24,8 т (2006–2010). Снижение величины уловов официальной статистики в 1990-е годы связано с переходом от монопольного государственного лова рыбы к лицензионному расширенному лову разными заготовителями и рыбаками-любителями. В новых рыночных условиях резко возросла величина неучтенных уловов. Предельный возраст леща – 23 года – был отмечен в 1955 году. Основу промысловых уловов формируют особи 8–10 лет длиной (АД) 25,5–30,7 см и массой 275–534 г. С 1970-х годов и до настоящего времени длина возрастного ряда промысловых уловов леща ограничивалась рыбами 17–18 лет. Начинает созревать в возрасте 6+, в массе 9+...10+ [9]. Условия для нереста и роста молоди леща в водохранилище в последние десять лет благоприятные (достаточно устойчивый уровеньный режим в период нереста и теплые весна – лето), что обеспечивает устойчивое и высокое пополнение. Стратегия добычи леща направлена на некоторое разрежение его стада, так как лещ Водлозера замедлил темп роста.

*Лещ Сямозера* обитает в губах и в центральной части озера. Значительные концентрации он образует на местах нереста в заливах Чуйнавок, Лахта, Куха. Основная часть вылавливается в период нереста (май – июнь), в меньшей степени осенью и зимой (мережи, сети). В 1950-е годы в уловах преобладали особи 8–10 лет, рыбы старше 11 лет составляли 33 %, неполовозрелые 11 %. В 1970-х годах также доминировали молодые особи леща в возрасте 6 лет (70 %). В 1980-х годах неполовозрелые рыбы составляли 14 %, впервые

нерестующие – 50 %, старше 12 лет – 5 %. Возрастной состав леща в последнее десятилетие достаточно устойчив: в промысле доминируют половозрелые 8–12-годовалые особи (60–70 %). В уловах встречается лещ возрастом более 15 лет. Отмечены значительные изменения его размеров по годам, что связано с условиями нагула. Так, в 1950-е годы средняя длина леща была 31 см и масса 800 г [2], в 1970-е годы – соответственно 24 см и 430 г. Проводимые в те годы наблюдения показали, что численность леща в озере высокая, но он теряет промысловую ценность из-за тугорослости. В целях разрежения популяции с 1979 года и по настоящее время разрешен отлов леща без соблюдения промысловой меры, что положительно сказывается на его росте. Так, средняя длина леща в 1980-е годы составляла 35,3 см, масса 743 г [13]. В целом современные биологические параметры леща устойчивы и близки к таковым 1950-х годов.

В промысловых уловах длина (АД) составляет 30–54 см. В последние годы увеличивается доля повторно нерестующих рыб, что свидетельствует об улучшении условий обитания популяции леща в Сямозере. Хотя условия среды обитания для леща в озере достаточно благоприятны, его роль в промысле на современном этапе невелика – от 0,5 до 6,9 т, в среднем 3,3 т. Снижение уловов связано не столько с состоянием его запасов, сколько с организационными причинами промысла.

Анализ результатов позволяет с уверенностью утверждать, что лещ, имея вышеперечисленные особенности структуры популяций, разный диапазон изменчивости длины возрастных рядов, успешно существует в изучаемых водоемах. В исследуемых озерах возраст массового полового созревания у большинства особей леща колеблется в пределах двух-трех возрастных классов. Это важный структурно-популяционный показатель, потому как определяются две различные части популяции: неполовозрелые и половозрелые особи. В старшем возрасте способность к воспроизводству сохраняется, что следует считать приспособительным свойством вида, обеспечивающим большую устойчивость своей численности при позднем наступлении половой зрелости. На возраст массового созревания опираются при разработке режимов эксплуатации промысловых запасов рыб. Поэтому естественно соизмерять с этим показателем такие аспекты внутривидовых процессов, как изменение численности и биомассы (ихтиомассы) изучаемых рыб.

Как видно из анализа биологических особенностей рассмотренных популяций леща, возраст кульминации ихтиомассы, ее соотношение с возрастом достижения половозрелости в разных водоемах проявляются неодинаково вследствие особенностей их экологии, предопределяющей уровень урожайности отдельных поколений, что предшествует возрасту массового полового созревания на всех изучаемых водоемах (табл. 3).

Таблица 3

Среднегодовья численность и биомасса популяций леща некоторых водоемов Карелии, по данным СевНИИРХ ПетрГУ

Возраст	Онежское озеро		Ладожское озеро		Выгозерское вдхр		Водлозерское вдхр		Сямозеро	
	N, тыс. шт.	B, т	N, тыс. шт.	B, т	N, тыс. шт.	B, т	N, тыс. шт.	B, т	N, тыс. шт.	B, т
1	29 740	356	198 030	1 692	2 905	50	9 525	40	2 300	9
2	11 160	430	45 116	1 562	1 040	56	2 726	48	600	11
3	5 600	430	14 895	1 169	503	53	1 135	46	240	12
4	3 250	400	5 957	835	280	47	574	42	120	11
5	2 050	370	2 680	590	170	42	327	38	70	11
6	1 367	337	1 305	415	110	36	200	35	44	11
7	940	300	670	290	70	30	130	30	30	10
8	657	263	355	200	47	25	88	27	20	10
9	460	226	190	137	30	20	60	24	15	9
10	320	190	103	92	20	15	41	20	10	8
11	220	153	56	60	12	10	28	17	7	7
12	150	120	30	38	7	8	20	14	5	6
13	100	90	15	23	4	5	13	11	4	5
14	63	65	8	14	2	3	8	8	2	4
15	40	45	4	8	1	2	5	6	1	3
16	23	30	2	4						
17	12	18	1	2						
18	6	10	1	1						

Во всех возрастных группах леща наблюдается убыль ихтиомассы, несмотря на продолжающийся весовой рост рыб под влиянием естественной или промысловой смертности. К возрасту массового полового созревания во всех изучаемых водоемах его численность снижается. Несмотря на большое количество неполовозрелых возрастных групп, оставшаяся часть рыб оказывается способной поддерживать существование популяции (с неизбежной флуктуацией численности по отдельным поколениям).

Таким образом, несмотря на обилие в Карелии пресноводных водоемов, в которых обитает лещ, промысел его осуществляется на небольшом их числе: Онежское озеро, северная часть Ладожско-

го озера, Сямозеро, Выгозерское и Водлозерское водохранилища. В результате выполненных исследований установлено, что промысел леща ведется в основном за счет половозрелых особей. Промысловые возможности популяции леща ограничиваются продукционными возможностями половозрелой ее части и величиной, полученной в результате прироста биомассы. В результате сделан вывод о том, что запасы леща в настоящее время эксплуатируются в пределах допустимых величин, но следует строго регламентировать и контролировать интенсивность промысла с учетом того, что лещ относится к рыбам с длительным жизненным циклом, требующим особого внимания при изменении интенсивности его промысла.

#### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> Методические рекомендации по контролю за состоянием рыбных запасов и оценке численности рыб на основе биостатистических данных. М.: ВНИРО ЦУРЭН, 2000. 36 с.

<sup>2</sup> Озера Карелии: Справочник / Под ред. Н. Н. Филагова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баба ян В. К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ). М.: Изд-во ВНИРО, 2000. 191 с.
2. Балагурова М. В. Биологические основы организации рационального рыбного хозяйства на сямозерской группе озер Карельской АССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 88 с.
3. Барсова А. В. Анализ промышленного использования рыб Водлозерского водохранилища за пятилетний период (2011–2015) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2017. № 4. С. 41–48.
4. Дятлов М. А. Рыбы Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. С. 79–110.
5. Ильмаст Н. В., Кучко Я. А., Кучко Т. Ю., Беляев Д. С., Милянчук Н. П. Мониторинг экосистемы озера Гимольское (Республика Карелия) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 4 (165). С. 34–38.

6. Кудерский Л. А., Александрова Т. Н. Локальные стада леща в Онежском озере // Факторы формирования рыбопродуктивности водохранилищ и пути ее увеличения. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1986. № 242. С. 150–155.
7. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
8. Макарова Е. Ф. Лещ Выгозерского водохранилища // Рыбное хозяйство Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 1958. С. 168–179.
9. Петрова Л. П., Кудерский Л. А. Водлозеро: природа, рыбы, рыбный промысел. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 196 с.
10. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). Л.: Пищ. пром-сть, 1966. 375 с.
11. Рикер У. Е. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1979. 408 с.
12. Сергеева Т. И., Черепанова Н. С. Биология и промысел леща Выгозерского водохранилища // Проблемы рыбохозяйственных исследований внутренних водоемов Северо-Запада Европейской части СССР: Тез. докл. научно-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Петрозаводск, 1984. С. 76–77.
13. Стерлигова О. П., Павлов В. Н., Ильмаст Н. В., Павловский С. А., Комулайнен С. Ф., Кучко Я. А. Экосистема Сямозера (биологический режим, использование). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 119 с.
14. Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. 224 с.
15. Филатов Н. Н., Руховец Л. А., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Влияние изменения климата на экосистемы озер севера европейской территории России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. Спец. выпуск. 2014. № 34. С. 48–56.
16. Шатуновский М. И., Дгебуадзе Ю. Ю., Бобырев А. Е., Соколова Е. Л., Усатый М. А., Крепис О. И., Усатый А. М., Чебану А. С. Некоторые закономерности изменчивости структуры и динамики популяции леща водоемов Восточной Европы // Вопросы ихтиологии. 2009. Т. 49. № 4. С. 495–507.
17. Caddy J. A short review of precautionary reference points and some proposals for their use in data-poor situations // FAO Fisheries Technical Paper. Rome: FAO, 1998. No 379. 30 p.
18. Hislop J. R. G. A comparison of the reproductive tactics and strategies in cod, addock, whiting and norway pout in the North Sea // Fish reproduction. L.: Acad. Press, 1990. P. 427–496.
19. Patzner R. A. Reproductive strategies of fish // Fish reproduction / Eds. M. J. Rocha, A. Arukwe, G. Kapoor. L.: Acad. Press, 2008. P. 203–270.
20. Pope J. G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis // ICNAF. Res. Bull. 1972. Vol. 9. P. 65–74.
21. Pope J. G., Shepherd J. G. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data // J. Cons. Intern. Explor. 1982. Mer. 40. P. 176–184.
22. Roff D. A., Heibo E., Vollestad L. A. The importance of growth and mortality costs in the evolution on the optimal life history // J. Compil. Eur. Soc. Evolut. Biol. 2006. Vol. 3. P. 1–11.
23. Stearns S. C. The evolution of the life histories. Oxford: Univ. Press, 1992. 249 p.

**Cherepanova N. S.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Shirokov V. A.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Georgiev A. P.**, Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Center  
of the Russian Academy of Science (Petrozavodsk, Russian Federation)

### BIOLOGY AND FISHERY FEATURES OF BREAM (*ABRAMIS BRAMA* L.) IN SOME LAKES OF KARELIAN REPUBLIC

Fish resources of inland waters of Karelia are used extremely unevenly. In Karelian lakes and reservoirs, valuable fish species (lake salmon, lake trout, pike, whitefish, and pike-perch) are intensively harvested. At the same time the reserves of bream, roach, perch, ruff and other small-particle fish are almost everywhere underused. The state of the bream population in a number of fishing reservoirs of the Republic of Karelia (Lake Onego, Ladoga, Syamozero, Vygozero and Vodlozero reservoirs) is estimated for the first time in the framework of the forecast topics. The research tasks included: a study of the size-weight, the age composition and the age of the bream puberty; calculation of its abundance and biomass at the present stage; development of the basic strategy of its rational use. The calculations of the bream abundance and biomass are given. The estimation is necessary for the objective solution in fishery regulations and forecasting of the bream catch at this stage. From the data obtained, it was clarified that bream stocks are currently exploited mainly at the expense of its mature individuals within the limits of permissible values. But, despite this, it is necessary to strictly regulate and control the intensity of its fishing, taking into account that this fishery object refers to the type of fish with a long life cycle, which requires special attention when changing the intensity of its fishing.

Key words: bream, Karelia, fishery, biology, abundance, biomass

#### REFERENCES

1. Babayan V. K. A precautionary approach to assessing the total allowable catch (TAC). Moscow, VNIRO Publ., 2000. 191 p. (In Russ.)
2. Balagurova M. V. Biological foundations of the organization of rational fish farming on the Syamozero group of lakes of the Karelian ASSR. Leningrad, Izd. AN SSSR, 1963. 88 p. (In Russ.)
3. Barsova A. V. Analysis of the industrial use of fish in Vodlozero reservoir for a five-year period (2011–2015). *Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2017. № 4. P. 41–48. (In Russ.)
4. Dyatlov M. A. Fish of the Ladoga Lake. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2002. P. 79–110. (In Russ.)
5. Ilmast N. V., Kuchko Y. A., Kuchko T. Yu., Belyaev D. S., Milianchuk N. P. Monitoring of the ecosystem of Lake Gimolskoye (Republic of Karelia). *Proceedings of Petrozavodsk State University*. 2017. No 4 (165). P. 34–38. (In Russ.)

6. Kudersky L. A., Aleksandrova T. N. Local flocks of bream in the Onega Lake. *Faktory formirovaniya rybo-produktivnosti vodokhranilishch i puti ee uvelicheniya*. Leningrad, Izd. GosNIORKh, 1986. № 242. P. 150–155. (In Russ.)
7. Lakin G. F. Biometrics. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 352 p. (In Russ.)
8. Makarova E. F. Bream of Vygozero reservoir. *Rybnoe khozyaystvo Karelii*. Petrozavodsk, 1958. Issue 7. P. 168–179. (In Russ.)
9. Petrova L. P., Kudersky L. A. Vodlozero: nature, fish, fishery. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2006. 196 p. (In Russ.)
10. Pravdin I. F. Guide to the study of fish (mainly freshwater). Leningrad, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1966. 375 p. (In Russ.)
11. Ricker U. E. Methods for the evaluation and interpretation of biological indicators of fish populations. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1979. 408 p. (In Russ.)
12. Sergeeva T. I., Cherepanova N. S. Biology and fishery of the bream of the Vygozero reservoir. *Problems of fishery research of inland water reservoirs of the North-West of the European part of the USSR: Doc. scientific-practical. Conf. young scientists and specialists*. Petrozavodsk, 1984. P. 76–77. (In Russ.)
13. Sterligova O. P., Pavlov V. N., Ilmast N. V., Pavlovsky S. A., Komulainen S. F., Kuchko Ya. A. Syamoser's Ecosystem (biological regime, use). Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2002. 119 p. (In Russ.)
14. Sterligova O. P., Ilmast N. V., Savosin D. S. Cyclostomata and fish in freshwaters of Karelia. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2016. 224 p. (In Russ.)
15. Filatov N. N., Rukhovets L. A., Nazarova L. E., Georgiev A. P., Efremova T. V., Palshin N. I. Influence of climate change on the ecosystems of lakes in the north of European territory of Russia. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2014. No 34. P. 48–56. (In Russ.)
16. Shatunovsky M. I., Dgebuadze Yu. Yu., Bobyrev A. E., Sokolova E. L., Usatyi M. A., Krepis O. I., Usatyi A. M., Chebanu A. S. Some regularity of the variability of the structure and dynamics of the population of the bream of the water bodies of Eastern Europe. *Voprosy ikhtiologii*. 2009. Vol. 49. № 4. P. 495–507. (In Russ.)
17. Caddy J. A short review of precautionary reference points and some proposals for their use in data-poor situations. *FAO Fisheries Technical Paper*. Rome, FAO Publ., 1998. No 379. 30 p.
18. Hislop J. R. G. A comparison of the reproductive tactics and strategies in cod, addock, whiting and norway pout in the North Sea. *Fish reproduction*. L., Acad. Press, 1990. P. 427–496.
19. Patzner R. A. Reproductive strategies of fish. *Fish reproduction*. L., Acad. Press, 2008. P. 203–270.
20. Pope J. G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *ICNAF. Res. Bull.* 1972. Vol. 9. P. 65–74.
21. Pope J. G., Shepherd J. G. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age data. *J. Cons. Intern. Explor.* 1982. Mer. 40. P. 176–184.
22. Roff D. A., Heibo E., Vollestad L. A. The importance of growth and mortality costs in the evolution on the optimal life history. *J. Compil. Eur. Soc. Evolut. Biol.* 2006. Vol. 3. P. 1–11.
23. Stearns S. C. The evolution of life histories. Oxford, Univ. Press, 1992. 249 p.

Поступила в редакцию 25.04.2017

**ГЕННАДИЙ ПРАНАСОВИЧ УРБАНАВИЧЮС**

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории наземных экосистем, Институт проблем промышленной экологии Севера – обособленное подразделение Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН» (Апатиты, Российская Федерация) [g.urban@mail.ru](mailto:g.urban@mail.ru)

**МАРГАРИТА АНАТОЛЬЕВНА ФАДЕЕВА**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация) [fadeeva@krc.karelia.ru](mailto:fadeeva@krc.karelia.ru)

**НАХОДКИ НОВЫХ И РЕДКИХ ВИДОВ ДЛЯ ЛИХЕНОФЛОРЫ  
ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» (Мурманская область)\***

Заповедник «Пасвик» расположен на крайнем северо-западе Мурманской области на границе с Норвегией. На его территории сохраняются самые северные в Европе малонарушенные старовозрастные сосновые леса. Современные исследования лишенофлоры заповедника ведутся с 2013 года. Целью экспедиций в 2017 году было изучение разнообразия лишайников тундровых местообитаний на горе Калкупя, а также старовозрастных сосновых и еловых лесов. В результате обработки коллекций 2017 года и частично сборов 2015–2016 годов было выявлено 29 видов и 4 рода (*Athelia*, *Bryostigma*, *Leptorhaphis*, *Sarea*), ранее неизвестных в лишенофлоре заповедника, в том числе: 26 видов лишайников, 1 вид лишенофильного гриба и 2 вида сапротрофных грибов. Шесть видов впервые обнаружены в биогеографической провинции Печенгская Лапландия, 11 крайне редких видов, известных ранее по единичным находкам, обнаружены на территории заповедника во второй раз. Для 6 охраняемых видов (*Arthonia vinosa*, *Bryoria fremontii*, *B. nitidula*, *Chaenotheca gracillima*, *Chaenothecopsis nigra*, *Lichenomphalia hudsoniana*) выявлены новые места произрастания. Приводится аннотированный список этих видов с указанием точных местонахождений, местообитаний и субстратов. В итоге, в настоящее время лишенофлора заповедника «Пасвик» насчитывает 556 видов, из которых 506 видов – лишайники, 37 видов – лишенофильные грибы и 13 видов – сапротрофные грибы. Таким образом, на территории заповедника сохраняется около 42 % известного видового разнообразия лишенофлоры Мурманской области.

Ключевые слова: лишайники, редкие виды, новые находки, заповедник «Пасвик», Мурманская область

**ВВЕДЕНИЕ**

Государственный природный заповедник «Пасвик» площадью 14687 га создан в 1992 году на крайнем северо-западе Мурманской области на границе с Норвегией для сохранения коренных сосновых лесов, находящихся на северном пределе распространения, и водно-болотных угодий мирового значения. Несмотря на небольшую территорию (наземная часть составляет всего 117 кв. км), в заповеднике представлены все основные типы местообитаний, характерные для Мурманской области, исключая приморские и высокогорные. По богатству флоры сосудистых растений и мохообразных, микобиоты, мест произрастания редких и охраняемых видов заповедник «Пасвик» является ключевой территорией Мурманской области и Зеленого пояса Фенноскандии. На сентябрь 2017 года здесь было представлено около 34 % видов микобиоты, 41 %

лишенофлоры, 45 % бриофлоры и 36 % видов флоры сосудистых растений Мурманской области [1].

«Пасвик» является преимущественно лесным заповедником (леса занимают 51,7 % территории), поэтому основные места обитания лишайников связаны с лесными экотопами и древесным субстратом. Сосна, береза, осина, ива, рябина, ольха являются главными древесными породами в заповеднике, заселяемыми лишайниками. Старовозрастные сосновые леса рассредоточены по всей заповедной территории, более компактно произрастают по подножиям отрогов горы Калкупя. Они не отличаются высоким разнообразием лишайников, и в них отсутствуют ярко выраженные центры локализации редких и охраняемых видов лишайников. Однако именно здесь в обилии произрастает лишайник *Bryoria fremontii* (Tuck.) Brodo et D. Hawksw., охраняемый на территории России и Мурманской области [3], [4].

Первое обобщение данных о более чем 520 видах лишайников Печенгской Лапландии – *Larponia petsamoënsis*, куда относится территория заповедника «Пасвик», сделал V. Räsänen [14], в их числе порядка 80 видов привел для территории, ныне занимаемой заповедником. После долгого перерыва лишайнофлористические исследования в «Пасвике» были возобновлены в начале 2000-х годов, итогом стала первая предварительная сводка лишайнофлоры заповедника «Пасвик», включавшая 277 видов [8]. С 2013 года в заповеднике целенаправленно проводится инвентаризация лишайнофлоры, и с этого момента ежегодно публикуются новые находки [7]. Настоящая работа является завершающей в цикле статей о новых находках на территории заповедника «Пасвик». Она посвящена результатам экспедиций 2017 года и обработки сборов 2015–2016 годов.

С учетом новых находок лишайнофлора заповедника «Пасвик» насчитывает 556 видов, из которых 506 видов – лишайники, 37 видов – лишайнофильные грибы и 13 видов – сапротрофные лишайнизированные грибы. Таким образом, сегодня на территории заповедника «Пасвик» сохраняется около 42 % известного видового разнообразия лишайнофлоры Мурманской области.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Представленные материалы получены в результате полевых исследований, проведенных авторами в 2017 году; еще часть видов была выявлена в коллекциях, собранных в предыдущие сезоны (2015–2016). В полевой сезон 2017 года особое внимание уделялось горно-тундровым местообитаниям, а также участкам старовозрастных сосновых и еловых лесов, наименее обследованных в предшествующие годы. Координаты и высота над уровнем моря фиксировались при помощи навигатора GARMIN GPSmap 62s в системе WGS84. Определение образцов проводилось стандартными методами в лаборатории наземных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра КНЦ РАН (ИППЭС КНЦ РАН, г. Апатиты) и в лаборатории ландшафтной экологии и охраны лесных экосистем Института леса – обособленного подразделения Федерального исследовательского центра КарНЦ РАН (ИЛ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск). Часть образцов определена в лаборатории лишайнологии и бриологии Ботанического института им. В. Л. Комарова (г. Санкт-Петербург). Образцы перечисленных ниже видов хранятся в гербарии ИППЭС КНЦ РАН – ИИЕР (сборы Г. П. Урбанавичюса) и в гербарии ИЛ КарНЦ РАН – РТЗ (сборы М. А. Фадеевой). Номенклатура таксонов приведена в основном по каталогу лишайников и близких грибов Мурманской области [15] с некоторыми современными изменениями [10], [11], [12], [18].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки коллекций выявлено 29 видов, ранее неизвестных на территории заповедника «Пасвик», в числе которых 26 видов лишайников, 1 вид лишайнофильного гриба и 2 вида сапротрофных грибов, традиционно учитываемых в лишайнофлористических сводках. Четыре рода являются новыми для лишайнофлоры заповедника. Впервые обнаружены в биогеографической провинции Печенгская Лапландия 6 видов; 11 крайне редких видов, известных ранее по единичным находкам, обнаружены на территории заповедника во второй раз. Для 6 охраняемых видов выявлены новые местонахождения. В аннотированном списке для каждого вида указаны координаты, место сбора, субстрат, дата сбора, коллектор. Приняты следующие сокращения и условные обозначения: \* – лишайнофильный гриб, + – сапротрофный гриб, ГУ – Г. П. Урбанавичюс, МФ – М. А. Фадеева, Lps – *Larponia petsamoënsis*.

#### Находки новых видов

*Alectoria vexillifera* (Nyl.) Stizenb.: 1) Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'20,1" с. ш., 29°23'15,5" в. д., 150 м над ур. м., склон северо-западной экспозиции, сосново-березовый лес с единичными старыми ивами и рябинами, на скалах, 22.08.2017, ГУ. 2) Там же, 69°18'13,2" с. ш., 29°23'16,5" в. д., 200–215 м над ур. м., скальные стены и каменные россыпи на границе леса, на стволе березы, 22.08.2017, ГУ. Ранее рассматривался в качестве подвида *Alectoria sarmentosa* (Ach.) Ach. subsp. *vexillifera* (Nyl.) D. Hawksw., в настоящее время рассматривается некоторыми авторами как самостоятельный вид [11].

*Athallia pyracea* (Ach.) Arup, Frödén et Søchting: Северное подножие горы Калкупя, 69°18'28,3" с. ш., 29°21'46,3" в. д., 60–65 м над ур. м., западный берег Большого озера, сосняк с единичными осинами, на стволе осины, 23.08.2017, ГУ.

\**Athelia arachnoidea* (Berk.) Jülich: Правобережье оз. Воуватусъярви, 69°15'03,5" с. ш., 29°18'35,9" в. д., старый осинник на месте бывшего хутора на мысу южнее горы Калкупя, на талломе *Physcia alnophila* (Vain.) Løht., Moberg, Myllys et Tehler и на коре осины, 28.09.2016, ГУ. Новый род для лишайнофлоры заповедника. Новый для Lps.

*Bacidia circumspeta* (Nyl. ex Vain.) Malme: Северное подножие горы Калкупя, 69°18'28,3" с. ш., 29°21'46,3" в. д., 60–65 м над ур. м., западный берег Большого озера, сосняк с единичными осинами, на стволе осины, 23.08.2017, ГУ. Новый для Lps.

*Bryostigma muscigenum* (Th. Fr.) Frisch et G. Thor: Северное подножие горы Калкупя, 69°18'28,3" с. ш., 29°21'46,3" в. д., 60–65 м над ур. м., западный берег Большого озера, сосняк с единичными осинами, на стволе осины,

23.08.2017, ГУ. Новый род для лишенофлоры заповедника. Новый для Lps.

*Calicium denigratum* (Vain.) Tibell: Северное подножие северо-восточного отрога горы Калкупя, 69°18'28,5" с. ш., 29°27'42,5" в. д., 65–70 м над ур. м., заболоченный сосновый лес с ольхой и ивами, на древесине сосны, 24.08.2017, ГУ.

*Caloplaca caesiorufella* (Nyl.) Zahlbr.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17'21,4" с. ш., 29°27'35,5" в. д., ручей из оз. Каскамаярви в оз. Боссояврре, каменистые пороги с зарослями ивы и березки вдоль берега, на ветвях ив, 24.08.2015, ГУ (опр. J. Vondrák).

*Candelariella kuusamoënsis* Räsänen: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17'06,7" с. ш., 29°26'40,8" в. д., скалы юго-восточной экспозиции с содержанием кальция на северо-западном берегу оз. Каскамаярви, на скалах с прослойкой из мелкозема и отмерших мхов, 23.08.2015, ГУ.

*Cladonia uliginosa* (Ahti) Ahti: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17.596' с. ш., 29°26.721' в. д., 100 м над ур. м., русло ручья (в верхнем течении), впадающего в оз. Боссояврре, с каменистым дном в ложбине между скальными грядами, на замшелой верхушке камня, выступающего из воды, 22.07.2017, МФ (PTZ, № 8997).

*Ionaspis odora* (Ach.) Th. Fr. ex Stein: Юго-восточный склон горы Калкупя, 69°17'18,6" с. ш., 29°20'11,9" в. д., 280–290 м над ур. м., березовое криволесье и сосновое редколесье в сочетании с фрагментами лишайниковых тундр, на камне, 23.08.2017, ГУ.

*Lecanora caesiosora* Poelt: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'13,2" с. ш., 29°23'16,5" в. д., 200–215 м над ур. м., скальные стены и каменные россыпи выше границы леса, на камне, 22.08.2017, ГУ.

*Lecanora leptacina* Sommerf.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'05,4" с. ш., 29°23'19,7" в. д., 280–300 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на замшелом камне, 22.08.2017, ГУ.

*Lecidea alpestris* Sommerf.: Юго-восточный склон горы Калкупя, 69°17'18,6" с. ш., 29°20'11,9" в. д., 280–290 м над ур. м., березовое криволесье и сосновое редколесье в сочетании с фрагментами лишайниковых тундр, на почве, 23.08.2017, ГУ.

*Lecidea lapicida* (Ach.) Ach.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'05,4" с. ш., 29°23'19,7" в. д., 280–300 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на камне, 22.08.2017, ГУ.

*Lecidea lithophila* (Ach.) Ach.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17'57,8" с. ш., 29°23'19,5" в. д., 320–335 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на камне, 22.08.2017, ГУ.

*Lecidea promiscua* Nyl.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17'57,8" с. ш., 29°23'19,5" в. д., 320–335 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на камне, 22.08.2017, ГУ.

Новый для Lps. Вторая находка в Мурманской области; впервые только недавно был обнаружен на Терском берегу в Варзугской Лапландии [5].

*Lecidea subhumida* Vain.: 1) Остров Чевессуоло, 69°15'03,5" с. ш., 29°17'15,5" в. д., старовозрастный сосновый лес почти на вершине горы, на древесине сосны, 28.09.2016, ГУ. 2) Северное подножие северо-восточных отрогов горы Калкупя, 69°18'35" с. ш., 29°25'36,6" в. д., 125 м над ур. м., старовозрастный сосняк кустарничковый на склоне северной экспозиции, на древесине сухой ветви сосны, 24.08.2017, ГУ. Вид внесен в список таксонов, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде Мурманской обл. [3]. Этот вид был описан из долины р. Паз [17] и сейчас найден повторно спустя более 130 лет. За пределами Мурманской области вид известен еще только из двух местонахождений в Финляндии [13]. Является эндемиком северо-восточной Фенноскандии, известным во всем мире только из Финляндии и Мурманской области. Систематическое положение вида остается невыясненным, ясно лишь то, что он не относится к роду *Lecidea* Ach. s. str., как его описал E. Vainio.

*Lecidea tessellata* Flörke: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17'57,8" с. ш., 29°23'19,5" в. д., 320–335 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на камне, 22.08.2017, ГУ.

*Lepraria neglecta* (Nyl.) Lettau: Юго-восточный склон горы Калкупя, 69°17'18,6" с. ш., 29°20'11,9" в. д., 280–290 м над ур. м., березовое криволесье и сосновое редколесье в сочетании с фрагментами лишайниковых тундр, на мхах, 23.08.2017, ГУ. Образец вида, ранее указанный нами под таким названием из заповедника [9], по данным тонкослойной хроматографии, не содержит алекториаловой кислоты и относится к *Lepraria caesioalba* (B. de Lesd.) J. R. Laundon.

+*Leptorhaphis epidermidis* (Ach.) Th. Fr.: Правобережье оз. Боссояврре, 69°19'59" с. ш., 29°38'55,6" в. д., 64 м над ур. м., заболоченный сосняк на левом берегу безымянного ручья, на стволе березы, 26.08.2017, ГУ. Новый род для лишенофлоры заповедника.

*Myriolecis hagenii* (Ach.) Śliwa, X. Zhao et Lumbsch: Правобережье оз. Боссояврре, 69°19'30" с. ш., 29°36'36,2" в. д., 55–60 м над ур. м., скалы на берегу с высоким содержанием солей кальция, на мхах и растительных остатках, 26.08.2017, ГУ.

*Pseudephebe minuscula* (Nyl. ex Arnold) Brodo et D. Hawksw.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17'57,8" с. ш., 29°23'19,5" в. д., 320–335 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на камне, 22.08.2017, ГУ.

*Rhizocarpon eupetraeum* (Nyl.) Arnold: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'13,2" с. ш., 29°23'16,5" в. д., 200–215 м над ур. м., скальные стены и каменные россыпи выше границы леса, на камне, 22.08.2017, ГУ.

*Sagedia simoënsis* (Räsänen) A. Nordin, S. Savić et Tibell: Юго-восточный склон горы Калкупя, 69°17'18,6" с. ш., 29°20'11,9" в. д., 280–290 м над ур. м., березовое криволесье и сосновое редколесье в сочетании с фрагментами лишайниковых тундр, на камне, 23.08.2017, ГУ.

+*Sarea difformis* (Fr.) Fr.: Юго-западное подножие горы Калкупя, 69°16'19,4" с. ш., 29°18'28,8" в. д., 70 м над ур. м., старовозрастный заболоченный ельник, на засмоленной ветви ели, 27.08.2017, ГУ. Новый род для лихенофлоры заповедника.

*Tetramelas pulverulentus* (Anzi) A. Nordin et Tibell: Правобережье оз. Боссояврре, 69°19'30" с. ш., 29°36'36,2" в. д., 55–60 м над ур. м., скалы на берегу с высоким содержанием солей кальция, на талломе *Physconia muscigena* (Ach.) Poelt, 26.08.2017, ГУ. Новый для Lps.

*Umbilicaria decussata* (Vill.) Zahlbr.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°17'57,8" с. ш., 29°23'19,5" в. д., 320–335 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на камне, 22.08.2017, ГУ.

*Xylographa pallens* Nyl.: Мыс на правом берегу р. Паз напротив о. Нивасаари (около старого пункта обогрева пограничников), 69°18'47,4" с. ш., 29°22'45" в. д., 53–55 м над ур. м., сосняк кустарничковый, на древесине сосны, 27.08.2017, ГУ.

*Xylographa rubescens* Räsänen: Мыс на правом берегу р. Паз напротив о. Нивасаари (около старого пункта обогрева пограничников), 69°18'47,4" с. ш., 29°22'45" в. д., 53–55 м над ур. м., сосняк кустарничковый, на древесине сосны, 27.08.2017, ГУ.

### Новые местонахождения редких видов

+*Chaenothecopsis debilis* (Turner et Borrer ex Sm.) Tibell: Юго-западное подножие горы Калкупя, 69°16'15,2" с. ш., 29°18'07,6" в. д., 70–75 м над ур. м., старовозрастный осинник, на коре осины, 27.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Впервые был выявлен в заповеднике в 2016 году в 2,5 км южнее нынешней находки [16]. Специализированный вид, приуроченный к старовозрастным лесам.

+*Chaenothecopsis pusilla* (Ach.) A. F. W. Schmidt: Юго-западное подножие горы Калкупя, 69°16'19,4" с. ш., 29°18'28,8" в. д., 70 м над ур. м., старовозрастный заболоченный ельник, на стволе ели, 27.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Впервые был выявлен в заповеднике в 2016 году на о. Чевессуоло [16].

*Diploschistes muscorum* (Scop.) R. Sant.: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'13,2" с. ш., 29°23'16,5" в. д., 200–215 м над ур. м., скальные стены и каменные россыпи выше границы леса, на замшелых скалах, 22.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Впервые был выявлен в заповеднике в 2016 году в южной части заповедника [7].

*Lecanographa abscondita* (Th. Fr.) Egea et Torren- te: Правобережье оз. Боссояврре, 69°19'30" с. ш.,

29°36'36,2" в. д., 55–60 м над ур. м., скалы на берегу с высоким содержанием солей кальция, на камне, 26.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Ранее был известен из единственного местонахождения в районе Глухой плотины [6]. Специализированный кальцефильный вид, приуроченный к местообитаниям с высоким содержанием солей кальция.

*Lecidea auriculata* Th. Fr. subsp. *brachyspora* Th. Fr.: Юго-восточный склон горы Калкупя, 69°17'18,6" с. ш., 29°20'11,9" в. д., 280–290 м над ур. м., березовое криволесье и сосновое редколесье в сочетании с фрагментами лишайниковых тундр, на камне, 23.08.2017, ГУ. Данный подвид впервые зафиксирован в лихенофлоре заповедника; отличается от типового таксона более мелкими и округлыми спорами.

*Microcalicium disseminatum* (Ach.) Vain.: Юго-западное подножие горы Калкупя, 69°16'19,4" с. ш., 29°18'28,8" в. д., 70 м над ур. м., старовозрастный заболоченный ельник, на стволе ели, 27.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Ранее был известен из единственного местонахождения на о. Чевессуоло [16]. Оценивается как индикаторный вид старовозрастных лесов [2].

*Polysporina simplex* (Davies) Vězda: Юго-восточный склон горы Калкупя, 69°17'18,6" с. ш., 29°20'11,9" в. д., 280–290 м над ур. м., березовое криволесье и сосновое редколесье в сочетании с фрагментами лишайниковых тундр, на камне, 23.08.2017. Вторая находка в заповеднике. Ранее был известен из единственного местонахождения на кальцийсодержащем субстрате в северной части заповедника в окрестностях Глухой плотины [6].

*Protothelenella leucothelia* (Nyl.) H. Mayrhofer et Poelt: Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'13,2" с. ш., 29°23'16,5" в. д., 200–215 м над ур. м., скальные стены и каменные россыпи выше границы леса, на талломе *Cladonia* sp. на замшелых скалах, 22.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Впервые был найден в южной части заповедника в 2016 году [16].

*Pycnora xanthococca* (Sommerf.) Hafellner: Мыс на правом берегу р. Паз напротив о. Нивасаари (около старого пункта обогрева пограничников), 69°18'47,4" с. ш., 29°22'45" в. д., 53–55 м над ур. м., сосняк кустарничковый, на древесине сосны, 27.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Ранее на территории заповедника был известен только по исторической находке V. Räsänen [14].

*Strangospora moriformis* (Ach.) Stein: Мыс на правом берегу р. Паз напротив о. Нивасаари (около старого пункта обогрева пограничников), 69°18'47,4" с. ш., 29°22'45" в. д., 53–55 м над ур. м., сосняк кустарничковый, на древесине сосны, 27.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Впервые был обнаружен в южной части заповедника в 2016 году [7].

*Tephromela atra* (Huds.) Hafellner: Правобережье оз. Боссояврре, 69°19'30" с. ш., 29°36'36,2" в. д.,

55–60 м над ур. м., скалы на берегу с высоким содержанием солей кальция, на камне, 26.08.2017, ГУ. Вторая находка в заповеднике. Первое местонахождение находится в центральной части заповедника на северо-восточных отрогах горы Калкупя [7].

#### Новые местонахождения охраняемых видов

*Arthonia vinosa* Leight.: категория 3 в Красной книге Мурманской обл. [3]. – Северное подножие северо-восточного отрога горы Калкупя, 69°18'40" с. ш., 29°24'19" в. д., 75 м над ур. м., сосняк кустарничковый с единичными старыми ивами на склоне северо-западной экспозиции, на стволе ивы, 24.08.2017, ГУ.

*Bryoria fremontii* (Tuck.) Brodo et D. Hawksw.: категория 3 в Красной книге РФ [4]; категория 5 в Красной книге Мурманской обл. [3] – 1) Восточные отроги горы Калкупя, 69°17'52' с. ш., 29°27'43' в. д., 121 м над ур. м., нижняя часть склона, старовозрастный сосняк бруснично-воронично-лишайниковый завалуненный, на валежной ветви сосны, 22.07.2017, МФ (PTZ, № 8998). 2) Северо-восточные отроги горы Калкупя, 69°18'20,1" с. ш., 29°23'15,5" в. д., 150 м над ур. м., склон северо-западной экспозиции, сосново-березовый лес, на ветвях сосны, 22.08.2017, ГУ. 3) Северное подножие северо-восточного отрога горы Калкупя, 69°18'35" с. ш., 29°25'36,6" в. д., 125 м над ур. м., старовозрастный сосняк кустарничковый на склоне северной экспозиции, 24.08.2017, ГУ. 4) Там же, 69°18'28,5" с. ш., 29°27'42,5" в. д., 65–70 м над ур. м., заболоченный сосновый лес с ольхой и ивами, на ветвях сосны, 24.08.2017, ГУ. 5) Правобережье оз. Боссоярвуре, 69°19'27,5" с. ш., 29°36'48,4" в. д., 85 м над ур. м., сосняк кустарничковый на скальном склоне западной экспозиции, на ветвях сосны, 26.08.2017, ГУ. 6) Юго-западное подножие горы Калкупя, 69°16'19,4" с. ш., 29°18'28,8" в. д., 70 м над ур. м., старовозрастный заболоченный ельник, на ветвях ели и сосны, 27.08.2017, ГУ.

*Bryoria nitidula* (Th. Fr.) Brodo et D. Hawksw.: 1) Северо-восточные отроги горы Калку-

пя, 69°18'05,4" с. ш., 29°23'19,7" в. д., 280–300 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на почве и камнях, 22.08.2017, ГУ. 2) Там же, 69°17'57,8" с. ш., 29°23'19,5" в. д., 320–335 м над ур. м., каменисто-лишайниковая тундра, на почве и камнях, 22.08.2017, ГУ. Вид внесен в список таксонов, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде Мурманской области [2].

*Chaenotheca gracillima* (Vain.) Tibell: категория 3 в Красной книге Мурманской обл. [3] – Левый берег ручья «Пограничный», впадающего в р. Мениккайоки, 69°21,473' с. ш., 29°50,765' в. д., 41 м над ур. м., сосново-березовый лес деренный, на основании березового пня, вместе с *Chaenotheca ferruginea* (Turner ex Sm.) Mig., *C. trichialis* (Ach.) Th. Fr., 19.07.2017, МФ (PTZ, № 9011).

+*Chaenothecopsis nigra* Tibell: категория 3 в Красной книге Мурманской обл. [3] – Юго-западное подножие горы Калкупя, 69°16'15,2" с. ш., 29°18'07,6" в. д., 70–75 м над ур. м., старовозрастный осинник, на коре осины, 27.08.2017, ГУ. Оценивается как индикаторный вид старовозрастных лесов.

*Lichenomphalia hudsoniana* (H. S. Jenn.) Redhead, Lutzoni, Moncalvo et Vilgalys: категория 3 в Красной книге РФ [4]; категория 5 в Красной книге Мурманской обл. [3] – Правобережье оз. Боссоярвуре, 69°19'27,5" с. ш., 29°36'48,4" в. д., 85 м над ур. м., сосняк кустарничковый на скальном склоне западной экспозиции, на замшелых скалах, 26.08.2017, ГУ.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны администрации заповедника «Пасвик» и коллегам из Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН и Института леса КарНЦ РАН за помощь и содействие в проведении полевых исследований, а также И. Н. Урбанавичене (Ботанический институт имени В. Л. Комарова, г. Санкт-Петербург) и J. Vondrák (Institute of Botany, Academy of Sciences of the Czech Republic) за помощь в определении ряда образцов лишайников.

\* Работа Г. П. Урбанавичюса выполнена в рамках государственных заданий № 0233-2014-0001 и 0226-2018-0111. Работа М. А. Фадеевой выполнена в рамках государственного задания № 0220-2014-0007.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровичев Е. А., Бойчук М. А., Кравченко А. В., Предтеченская О. О., Урбанавичюс Г. П., Фадеева М. А., Химич Ю. Р. Фитобиота заповедника «Пасвик» – ключевого пункта Зеленого пояса Фенноскандии на Севере Европы // Международная и межрегиональная сопряженность охраняемых природных территорий Европейского Севера: Материалы международной научно-практической конференции, г. Петрозаводск, 13–17 ноября 2017 г. Петрозаводск, 2017. С. 11–14.
2. Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе Европейской части России. Т. 2. Пособие по определению видов, используемых при обследовании на уровне выделов. СПб., 2009. 258 с.
3. Красная книга Мурманской области. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.
4. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: КМК, 2008. 855 с.
5. Мелехин А. В. Находки новых и редких в Мурманской области видов лишайников из сборов 2015–2016 гг. // Вестник Кольского научного центра РАН. 2017. № 2. С. 15–21.
6. Урбанавичюс Г. П., Фадеева М. А. Новые для заповедника «Пасвик» (Мурманская область) виды лишайников и лихенофильных грибов // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 4. С. 117–121. DOI: 10.17076/bg26.
7. Урбанавичюс Г. П., Фадеева М. А. Дополнения к лихенофлоре заповедника «Пасвик» (Мурманская область) по материалам 2015–2016 гг. // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 6. С. 62–70. DOI: 10.17076/bg581.

8. Фадеева М. А., Дудорева Т. А., Урбанавичюс Г. П., Ахти Т. Лишайники заповедника «Пасвик» (аннотированный список видов). Апатиты, 2011. 80 с.
9. Фадеева М. А., Урбанавичюс Г. П., Ахти Т. Дополнение к флоре лишайников заповедника «Пасвик» // Труды КарНЦ РАН. 2013. № 2. С. 101–104.
10. Arup U., Söchting U., Frödén P. A new taxonomy of the family Teloschistaceae // Nordic Journal of Botany. 2013. Vol. 31. P. 16–83. DOI: 10.1111/j.1756-1051.2013.00062.x.
11. McMullin R. T., Lendemer J. C., Braid H. E., Newmaster S. G. Molecular insights into the lichen genus *Alectoria* (Parmeliaceae) in North America // Botany. 2016. Vol. 94. P. 165–175. DOI: 10.1139/cjb-2015-0186.
12. Nordin A., Savić S., Tibell L. Phylogeny and taxonomy of *Aspicilia* and *Megasporaceae* // Mycologia. 2010. Vol. 102. No 6. P. 1339–1349. DOI: 10.3852/09-266.
13. Nordin A., Moberg R., Tønsberg T., Vitikainen O., Dalsätt Å., Myrdal M., Snitting D., Ekman S. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-forming and Lichenicolous Fungi. 2017. Available at: <http://130.238.83.220/santesson/home.php> (accessed 01.02.2018).
14. Räsänen V. Petsamon jäkäläkasvisto // Annales Botanici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae “Vanamo”. 1943. Vol. 18. No 1. P. 1–110.
15. Urbanavichus G., Ahti T., Urbanavichene I. Catalogue of lichens and allied fungi of Murmansk Region, Russia // Norrlinna. 2008. Vol. 17. P. 1–80.
16. Urbanavichus G., Urbanavichene I. New records and noteworthy lichens and lichenicolous fungi from Pasvik Reserve, Murmansk Region, Russia // Folia Cryptogamica Estonica. 2017. Fasc. 54. P. 31–36. DOI: 10.12697/fce.2017.54.06.
17. Vainio E. A. Adjumenta ad Lichenographiam Lapponiae fennicae atque Fenniae borealis. II // Meddelanden af Societas pro Fauna et Flora Fennica. 1883. Vol. 10. P. 1–230.
18. Zhao X., Leavitt S. D., Zhao Z. T., Zhang L. L., Arup U., Grube M., Pérez-Ortega S., Printzen C., Sliwa L., Kraichak E., Divakar P. K., Crespo A., Lumbsch H. T. Towards a revised generic classification of lecanoroid lichens (Lecanoraceae, Ascomycota) based on molecular, morphological and chemical evidence // Fungal Diversity. 2016. Vol. 78. No 1. P. 293–304. DOI: 10.1007/s13225-015-0354-5.

**Urbanavichus G. P.**, Institute of North Industrial Ecology Problems – Subdivision of the Federal Research Centre Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences (Apatity, Russian Federation)

**Fadeeva M. A.**, Forest Research Institute – Subdivision of the Federal Research Centre, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk, Russian Federation)

### NEW RECORDS FOR LICHEN FLORA OF PASVIK RESERVE (MURMANSK REGION)

The Pasvik State Nature Reserve is located in the north-western part of Murmansk Region. The reserve is important for the conservation of lichen diversity because it represents the northernmost, mainly undisturbed old-aged forests of the North-Western European part of Russia. The main goals of the expedition in 2017 was to study the lichen diversity of the old-aged pine and spruce forests and mountain tundra of Kalkupya Mt. Based on the material, collected mainly in 2017 and partially in 2015–2016, 29 species and 4 genera (*Athelia*, *Bryostigma*, *Leptorhaphis*, *Sarea*) are reported new to the Pasvik Reserve, including 26 lichenized species, 2 lichenicolous fungi, and 1 saprobic fungus. Six species are new to the biogeographic Province Lapponia Petsamoënsis. In addition, eleven rarely collected species are also reported. Detailed characteristics of their localities are presented. The annotated listing of species is given. New localities for six species from the Red Data Books of Murmansk Region and Russia (*Arthonia vinosa*, *Bryoria fremontii*, *B. nitidula*, *Chaenotheca gracillima*, *Chaenothecopsis nigra* and *Lichenomphalia hudsoniana*) are reported. As a result, the reserve accounts for 506 lichenized species, 37 lichenicolous species, and 13 saprobic fungi. Therefore, 42 % of the known species diversity of lichen flora is located in Murmansk Region.

Key words: lichens, new records, rare species, Pasvik Reserve, Murmansk region

#### ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to the administration of the Pasvik State Nature Reserve for organizing the expedition and to I. N. Urbanavichene (Komarov Botanical Institute, Saint-Petersburg) and J. Vondrák (Institute of Botany, Academy of Sciences of the Czech Republic) for confirming some species.

\* The work of G. P. Urbanavichus was carried out in the framework of the State Research Programme of the Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS (№ 0233-2014-0001 and 0226-2018-0111). The work of M. A. Fadeeva was carried out in the framework of the State Research Programme of the Forest Research Institute Karelian Research Centre RAS (№ 0220-2014-0007).

#### REFERENCES

1. Borovichev E. A., Boychuk M. A., Kravchenko A. V., Predtechenskaya O. O., Urbanavichus G. P., Fadeeva M. A., Khimich Yu. R. The plant biota of the Pasvik strict nature reserve – a key-note piece of the Green belt of Fennoscandia in the North of Europe. *Proc. Int. Confer. “International and interregional connectivity of protected areas in the European North”*. Petrozavodsk, 2017. P. 11–14. (In Russ.)
2. Survey of biologically valuable forests in North-Western European Russia. Vol. 2. Identification manual of species to be used during survey at stand level. St. Petersburg, 2009. 258 p. (In Russ.)
3. Red data book of the Murmansk Region. Kemerovo, Aziya-Print Publ., 2014. 584 p. (In Russ.)
4. Red Data Book of Russian Federation (plants and fungi). Moscow, KMK Publ., 2008. 855 p. (In Russ.)
5. Melekhin A. V. Records of new and rare in the Murmansk Region lichen species in collections of 2015–2016. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*. 2017. No 9. P. 15–21. (In Russ.)
6. Urbanavichus G. P., Fadeeva M. A. Lichens and lichenicolous fungi new for the Pasvik Reserve (Murmansk Region). *Trans. of KarRC of RAS*. 2015. No 4. P. 117–121. DOI: 10.17076/bg26. (In Russ.)

7. Urbanavichus G. P., Fadeeva M. A. Additions to the lichen flora of the Pasvik Strict Nature Reserve (Murmansk Oblast) based on materials of 2015–2016. *Trans. of KarRC of RAS*. 2017. No 6. P. 62–70. DOI: 10.17076/bg581. (In Russ.)
8. Fadeeva M. A., Dudoreva T. A., Urbanavichus G. P., Ahti T. Lichens of the Pasvik Strict Nature Reserve (annotated checklist). Apatity, 2011. 80 p. (In Russ.)
9. Fadeeva M. A., Urbanavichus G. P., Ahti T. Additions to the lichen flora of the Pasvik Strict Nature Reserve. *Trans. of KarRC of RAS*. 2013. No 2. P. 101–104. (In Russ.)
10. Arup U., Søchting U., Frödén P. A new taxonomy of the family Teloschistaceae. *Nordic Journal of Botany*. 2013. Vol. 31. P. 16–83. DOI: 10.1111/j.1756-1051.2013.00062.x.
11. McMullin R. T., Lendemer J. C., Braid H. E., Newmaster S. G. Molecular insights into the lichen genus *Alectoria* (Parmeliaceae) in North America. *Botany*. 2016. Vol. 94. P. 165–175. DOI: 10.1139/cjb-2015-0186.
12. Nordin A., Savić S., Tibell L. Phylogeny and taxonomy of *Aspicilia* and *Megasporaceae*. *Mycologia*. 2010. Vol. 102. No 6. P. 1339–1349. DOI: 10.3852/09-266.
13. Nordin A., Moberg R., Tønsberg T., Vitikainen O., Dalsätt Å., Myrdal M., Snitting D., Ekman S. Santesson's Checklist of Fennoscandian Lichen-forming and Lichenicolous Fungi. 2017. Available at: <http://130.238.83.220/santesson/home.php> (accessed 01.02.2018).
14. Räsänen V. Petsamon jäkäläkasvisto. *Annales Botanici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae "Vanamo"*. 1943. Vol. 18. No 1. P. 1–110.
15. Urbanavichus G., Ahti T., Urbanavichene I. Catalogue of lichens and allied fungi of Murmansk Region, Russia. *Norrlinia*. 2008. Vol. 17. P. 1–80.
16. Urbanavichus G., Urbanavichene I. New records and noteworthy lichens and lichenicolous fungi from Pasvik Reserve, Murmansk Region, Russia. *Folia Cryptogamica Estonica*. 2017. Fasc. 54. P. 31–36. DOI: 10.12697/fce.2017.54.06.
17. Vainio E. A. Adjumenta ad Lichenographiam Lapponiae fennicae atque Fenniae borealis. II. *Meddelanden af Societas pro Fauna et Flora Fennica*. 1883. Vol. 10. P. 1–230.
18. Zhao X., Leavitt S. D., Zhao Z. T., Zhang L. L., Arup U., Grube M., Pérez-Ortega S., Printzen C., Šliwa L., Kraichak E., Divakar P. K., Crespo A., Lumbsch H. T. Towards a revised generic classification of lecanoroid lichens (Lecanoraceae, Ascomycota) based on molecular, morphological and chemical evidence. *Fungal Diversity*. 2016. Vol. 78. No 1. P. 293–304. DOI: 10.1007/s13225-015-0354-5.

Поступила в редакцию 09.02.2017

**МАРИЯ ГЕОРГИЕВНА МАЛЕВА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*maria.maleva@mail.ru*

**НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА ЧУКИНА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*nady\_dicusar@mail.ru*

**ГАЛИНА ГРИГОРЬЕВНА БОРИСОВА**

доктор географических наук, профессор кафедры экспериментальной биологии и биотехнологий Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*borisova59@mail.ru*

**ОЛЬГА ВИКТОРОВНА СЕДЯЕВА**

бакалавр департамента «Биологический факультет» Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*o.sedyeva@yandex.ru*

**КСЕНИЯ АЛЕКСАНДРОВНА ПАНИКОВСКАЯ**

бакалавр департамента «Биологический факультет» Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)  
*ksenia.panikovskaya@gmail.com*

**ОТВЕТНЫЕ РЕАКЦИИ *ELODEA CANADENSIS* НА ДЕЙСТВИЕ ИОНОВ КАДМИЯ И ЦИНКА\***

В модельных системах изучены ответные реакции погруженного макрофита (*Elodea canadensis* Michx.) на действие двух металлов – токсичного (кадмия) и биогенного (цинка). Было исследовано раздельное и совместное влияние сублетальной концентрации  $Cd^{2+}$  (100 мкмоль) и умеренной концентрации  $Zn^{2+}$  (50 мкмоль) на их аккумуляцию, содержание фотосинтетических пигментов и антиоксидантные реакции в листьях *E. canadensis*. Изучена роль цинка в противодействии токсическим эффектам кадмия. При инкубировании элодеи в среде с  $Cd^{2+}$  его содержание в листьях возросло в 780 раз по сравнению с контролем. Инкубирование с  $Zn^{2+}$  увеличивало его накопление в 23 раза. Совместное добавление металлов снижало аккумуляцию цинка в 1,6 раза, в то время как кадмия – в 1,4 раза. Ионы кадмия вызвали уменьшение количества фотосинтетических пигментов, антоцианов, растворимого белка, а также активности каталазы, в то время как активность супероксиддисмутазы и содержание растворимых белковых тиолов (в расчете на белок) повышались. Ионы цинка вызвали дегградацию хлорофиллов, однако стимулировали синтез каротиноидов и антоцианов в листьях *E. canadensis*. Добавление цинка в среду с кадмием ослабляло токсические эффекты последнего. Вероятно, это обусловлено ингибированием поглощения  $Cd^{2+}$  в присутствии  $Zn^{2+}$ , а также способностью этого биогенного металла препятствовать окислению биомолекул и образованию активных форм кислорода.

Ключевые слова: *Elodea canadensis*, кадмий, цинк, взаимодействие ионов, аккумуляция, токсичность, фотосинтетические пигменты, антиоксидантная система

**ВВЕДЕНИЕ**

В условиях существенного роста антропогенных нагрузок все более актуальной становится проблема загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) различных компонентов окружающей среды, в том числе водных экосистем [6], [8], [26].

Тяжелые металлы можно разделить на 2 группы: металлы-микроэлементы, необходимые для метаболизма растений (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo и др.), которые становятся токсичными, если их содержание превышает определенный уровень; металлы, не участвующие в метаболизме растений (Pb,

Cd, Hg), которые токсичны даже в очень низких концентрациях [14].

Одним из наиболее широко распространенных и высокотоксичных ТМ является кадмий. Загрязнение водных объектов ионами кадмия обусловлено главным образом хозяйственной деятельностью человека: он поступает от предприятий горнодобывающей и металлургической промышленности, автотранспорта, сельскохозяйственных предприятий и др. [6], [25].

К настоящему времени достаточно подробно изучено действие ионов кадмия на живые системы, в том числе растения. Кадмий, проникая в клетки, может связываться с функциональными группами белков, нуклеиновых кислот, полисахаридов, вызывая нарушение метаболизма [5], [7], [21]. Накопление этого иона в растениях подавляет фотосинтез и дыхание, изменяет активность ферментов [6], [9], [13], [21], [26].

Обладая большим сродством к SH-группам, ионы Cd образуют прочные связи с белками, входящими в состав клеточной стенки, тем самым препятствуя ее растяжению. Кроме того, способствуя образованию активных форм кислорода (АФК) и других свободных радикалов, ионы Cd вызывают окисление липидов и других биологически важных молекул [4], [5], [6], [7], [9], [25].

Цинк, напротив, является важнейшим микроэлементом для всех живых организмов, включая растения. Ионы цинка являются кофакторами либо активаторами многих ферментов (карбоангидразы, щелочной фосфатазы, супероксиддисмутазы, алкогольдегидрогеназы и др.). Цинк играет важную роль в метаболизме ДНК и РНК, в регуляции экспрессии генома, синтезе белка и клеточном делении [6], [19]. Однако в повышенных концентрациях цинк, как и другие микроэлементы, может оказывать токсическое действие на растение [14].

В природных местообитаниях растения часто подвергаются одновременному действию нескольких ТМ в различных концентрациях. Характер взаимного действия металлов зависит от их природы, концентрации и видовой специфики растения. Показано, что некоторые металлы при совместном присутствии проявляют антагонизм или синергизм, а взаимодействие других имеет аддитивный характер [1], [6], [21], [23]. При оценке взаимного влияния металлов на растения внимание ученых, как правило, акцентировано на процессах поглощения и накопления ионов, в то время как структурно-функциональные особенности при совместном действии ионов исследованы недостаточно. Изучение взаимного действия ионов кадмия и цинка на физиолого-биохимические параметры растений на клеточном уровне представляет особый интерес, поскольку эти металлы имеют сходные химические свойства вследствие близких значений ионных радиусов [6], [25]. Известно, что кадмий способен замещать

цинк в активных центрах металлсодержащих ферментов, приводя к резкому нарушению ферментативных процессов [6], [7], [22].

Проведенные ранее зарубежными учеными физиолого-биохимические исследования, объектом которых был погруженный макрофит *Ceratophyllum demersum* L., показали, что добавление цинка (10–200 мкмоль) к кадмию (10 мкмоль) существенно уменьшало продукцию свободных радикалов, повышало активность ферментов, стабилизовало содержание фотосинтетических пигментов [5], [6], [7]. В связи с этим закономерным является вопрос о способности цинка оказывать протекторное влияние и снижать негативные последствия действия кадмия на растения при его высоких (сублетальных) концентрациях.

Цель работы – исследование раздельного и совместного действия ионов  $Cd^{2+}$  (100 мкмоль) и  $Zn^{2+}$  (50 мкмоль) на их аккумуляцию, содержание фотосинтетических пигментов и антиоксидантные реакции в листьях *Elodea canadensis* Michx.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

*Elodea canadensis* Michx. (элодея канадская) – многолетнее высшее водное растение из семейства Hydrocharitaceae с погруженными в воду длинными ветвистыми стеблями. Данный вид занесен из Северной Америки, распространен повсеместно.

Побеги элодеи длиной 15–25 см культивировали в течение 5 сут на 5 % среде Хогланда – Арнона I (1 л среды содержал 41 мг безводного  $Ca(NO_3)_2$ , 25 мг  $KNO_3$ , 6,8 мг  $KH_2PO_4$ , 12 мг  $MgSO_4 \times 7H_2O$ ). Выбор питательной среды без добавления микроэлементов (в том числе цинка) был обусловлен необходимостью исключить их влияние в контроле. Ранее проведенные эксперименты показали [2], что в условиях краткосрочного инкубирования водных растений на такой среде дефицит микроэлементов не был выражен. Фотопериод составлял 16 : 8, температура 25 °C : 22 °C (день : ночь соответственно), интенсивность освещения – 100 мкмоль  $m^{-2} s^{-1}$ . В опытные варианты добавляли сульфаты кадмия и цинка (раздельно и совместно) в концентрации 100 и 50 мкмоль соответственно. Контролем служил вариант без добавления металлов. По окончании опыта растения извлекали и тщательно промывали 0,01 % раствором Na-ЭДТА и дистиллированной водой.

Содержание металлов в листьях элодеи определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (AAS Vario 6, «Analytik Jena», Germany) после мокрого озоления 70 % азотной кислотой особой чистоты.

Содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) определяли спектрофотометрически на Jasco V-650 («Jasco Inc.», США) в ацетоновых экстрактах (80 %), согласно Лихтентайлеру [17].

Содержание антоцианов определяли спектрофотометрически после экстрагирования в 1 % растворе соляной кислоты, по методике Д. А. Муравьевой и др. [3].

Общее содержание белковых растворимых тиолов (РТ) определяли спектрофотометрически с использованием реактива Элмана [3].

Для определения содержания растворимого белка и активности антиоксидантных ферментов пробы листьев (0,5 г) замораживали жидким азотом и гомогенизировали в 5 мл 0,1 М К/Na-фосфатного буфера (рН = 7,4). Содержание растворимого белка (РБ) определяли по методу Брэдфорд [3], используя бычий сывороточный альбумин как стандарт.

Активность супероксиддисмутазы (СОД) определяли путем измерения скорости ингибирования фотохимического восстановления нитросинего тетразолия при длине волны 560 нм; активность каталазы (КАТ) – измерением разложения пероксида водорода во времени при 240 нм [3].

**Статистическая обработка.** Статистическую обработку результатов проводили с помощью программ Excel 7,0 и Statistica 6,0. Достоверность различий между вариантами определяли по непараметрическому критерию Манна – Уитни при уровне значимости  $p < 0,05$ . Коэффициенты корреляции были рассчитаны на основе ранговой корреляции Спирмена. На рисунках показаны средние арифметические значения из трех биологических повторностей и их стандартные ошибки. Разными буквами указаны достоверно значимые различия между вариантами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При инкубировании элодеи в течение 5 сут в среде с ионами кадмия его содержание в листьях возрастало в 780 раз по сравнению с контролем (рис. 1). Такой высокий уровень аккумуляции металла, вероятно, связан с тем, что элодея канадская является погруженным водным растением. Для нее характерна высокая поглощательная способность, обусловленная значительной поверхностью соприкосновения листьев с водой и анатомическими особенностями (слабо развитая кутикула, тонкая листовая пластинка).

Инкубирование растений в среде с  $Zn^{2+}$  также увеличивало его содержание в листьях по сравнению с контролем, однако в меньшей степени, чем в случае с кадмием (в 23 раза). При этом исходное содержание в листьях цинка было существенно (почти в 20 раз) выше, чем содержание кадмия.

При добавлении цинка в среду с кадмием их содержание в листьях достоверно уменьшалось по сравнению с отдельным. В присутствии цинка накопление  $Cd^{2+}$  было ниже в 1,4 раза, в то время как содержание  $Zn^{2+}$  в присутствии кадмия снижалось в 1,6 раза.

Ранее на *E. canadensis* было показано, что добавление другого биогенного элемента (марганца)

к кадмию в равной концентрации (100 мкмоль) также приводило к существенному уменьшению поглощения обоих металлов [2].

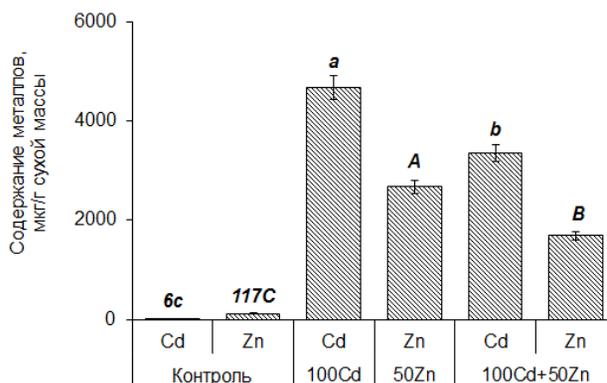


Рис. 1. Содержание кадмия и цинка в листьях *E. canadensis* при инкубировании в среде с металлами

Явление ингибирования процесса поглощения  $Cd^{2+}$  под действием  $Zn^{2+}$  было показано и другими авторами на разных видах наземных и водных растений [1], [5], [6], [22]. Имеются также данные о том, что в присутствии кадмия в листьях многих видов растений снижалось содержание цинка [1], [5], [6], [21].

Известно, что транспорт через клеточные мембраны ряда ионов ГМ, включая цинк и кадмий, осуществляется при участии ZIP-транспортёров [1], [6] и других транспортных белков. Очевидно, снижение поглощения  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  элодеей при их совместном присутствии можно объяснить конкуренцией между изученными ионами за общие мембранные транспортные белки, обеспечивающие их поступление в клетки растений. Антагонизм между  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  во многом определяется физико-химическими причинами, и в частности близостью ионных радиусов этих металлов [6], [25].

Таким образом, проведенные нами исследования с использованием модельных систем подтвердили данные многих авторов о том, что взаимоотношения между ионами кадмия и цинка носят антагонистический характер.

Важную роль при изучении адаптивных возможностей растений играет изучение пластичности фотосинтетического аппарата, который является достаточно чувствительным к действию неблагоприятных факторов [4], [18].

В присутствии ионов кадмия и цинка (по отдельности) в листьях элодеи снижалось содержание как хлорофилла *a* (Хл *a*), так и хлорофилла *b* (Хл *b*), в среднем в 1,8 и в 1,6 раза соответственно (рис. 2А). Совместное присутствие ионов этих металлов приводило к еще большему снижению количества хлорофиллов (в 2 раза по сравнению с контролем). Обнаружена отрицательная корреляция между содержанием в листьях Хл *a* и накоплением кадмия ( $r = -0,78$  при  $p < 0,05$ ; таблица).

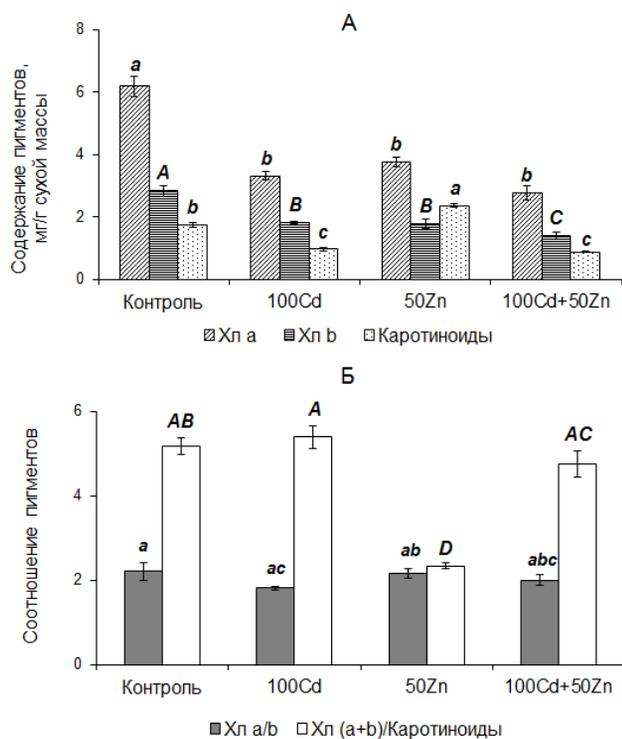


Рис. 2. Содержание фотосинтетических пигментов (А) и их соотношение (Б) в листьях *E. canadensis* при инкубировании в среде с металлами

Одной из причин снижения содержания зеленых пигментов в присутствии металлов является подавление синтеза хлорофилла, связанное в первую очередь с ингибирующим действием металлов на активность ферментов его биосинтеза [1], [6], [25].

На погруженном макрофите *Ceratophyllum demersum* L. было показано, что добавление  $Zn^{2+}$  (10–200 мкмоль) к  $Cd^{2+}$  (10 мкмоль) обеспечивало не только поддержание уровня хлорофилла, но и накопление его свыше уровня контроля [6]. Однако в наших исследованиях защитная роль  $Zn^{2+}$  в отношении хлорофилла не проявлялась, что, очевидно, объясняется высокой концентрацией в среде  $Cd^{2+}$ .

При раздельном внесении металлов количество каротиноидов в листьях элодеи существенно изменялось: в присутствии кадмия оно уменьшалось в 1,8 раза ( $r = -0,63$  при  $p < 0,05$ ), в то время как в присутствии цинка – повышалось на 35 % по сравнению с контролем. Однако при совместном действии кадмия и цинка содержание каротиноидов оставалось на таком же низком уровне, как при раздельном действии  $Cd^{2+}$ . Существенное (в 4 раза) уменьшение содержания каротиноидов в листьях элодеи под действием  $Cd^{2+}$  (100 мкмоль) было отмечено нами и ранее [2].

Значения коэффициентов корреляции между изученными параметрами *E. canadensis* при инкубировании в среде с металлами

Параметры	Cd	Zn	Хл а	Хл b	Кар.	АЦ	РБ	РТ	СОД	КАТ
Cd	1,00									
Zn	-0,40	1,00								
Хл а	-0,78*	0,02	1,00							
Хл b	-0,52	-0,39	0,85**	1,00						
Кар.	-0,63*	0,48	0,66*	0,49	1,00					
АЦ	-0,30	-0,30	0,51	0,66*	0,21	1,00				
РБ	-0,93***	0,48	0,64*	0,36	0,66*	0,13	1,00			
РТ	0,98***	-0,39	-0,77*	-0,49	-0,60*	-0,27	-0,89**	1,00		
СОД	0,93***	-0,39	-0,77*	-0,53	-0,66*	-0,31	-0,87**	0,90***	1,00	
КАТ	-0,80*	0,73*	0,57	0,22	0,78*	0,22	0,74*	-0,80*	-0,75*	1,00

Примечание. Хл а – хлорофилл а, Хл b – хлорофилл b, Кар. – каротиноиды, АЦ – антоцианы, РБ – растворимый белок, РТ – растворимые тиолы, СОД – супероксиддисмутаза, КАТ – каталаза. N = 12, \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,001$ , \*\*\* $p < 0,0001$ .

Снижение содержания каротиноидов у элодеи при инкубировании с  $Cd^{2+}$  может быть связано с их окислительной деструкцией. Как известно, каротиноиды не только принимают участие в поглощении световой энергии, но и обладают антиоксидантной активностью [11].

Важным показателем стабильного функционирования фотосинтетического аппарата является отношение Хл а к Хл b и суммы хлорофиллов к каротиноидам.

Результаты проведенных исследований показали, что соотношение Хл а/b у элодеи во всех

вариантах было примерно одинаковым: достоверных различий от контроля не обнаружено (рис. 2Б).

Отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам в присутствии кадмия и при совместном действии кадмия и цинка оставалось неизменным (на уровне контроля). В присутствии  $Zn^{2+}$  оно было минимальным, что объясняется существенным повышением содержания каротиноидов при его добавлении в среду (см. рис. 2Б).

Таким образом, кадмий снижал содержание всех фотосинтетических пигментов, в то время как цинк – только хлорофиллов.

Важную роль в растительном метаболизме играют антоцианы – водорастворимые пигменты растений, обуславливающие окраску цветков, плодов и листьев. Физиологические функции антоцианов связаны в первую очередь с их участием в процессах антиоксидантной защиты. Известно, что антоцианы способны не только образовывать хелатирующие комплексы с ионами металлов, но и участвовать в ликвидации свободных радикалов [16], [24].

При инкубировании элодеи с  $Cd^{2+}$  содержание антоцианов в листьях уменьшалось в 1,6 раза (рис. 3А). Присутствие  $Zn^{2+}$  стимулировало синтез антоцианов на 28 %, в то время как добавление кадмия к цинку не оказывало влияния на их количество. Существенное снижение содержания антоцианов в присутствии  $Cd^{2+}$ , по-видимому, объясняется их окислительной декструкцией, вероятно, как и в случае с каротиноидами. Кроме того, на некоторых видах высших растений было показано, что ионы кадмия могут ингибировать активность одного из ключевых ферментов биосинтеза флавоноидов – фенилаланин-аммиак-лиазы [15].

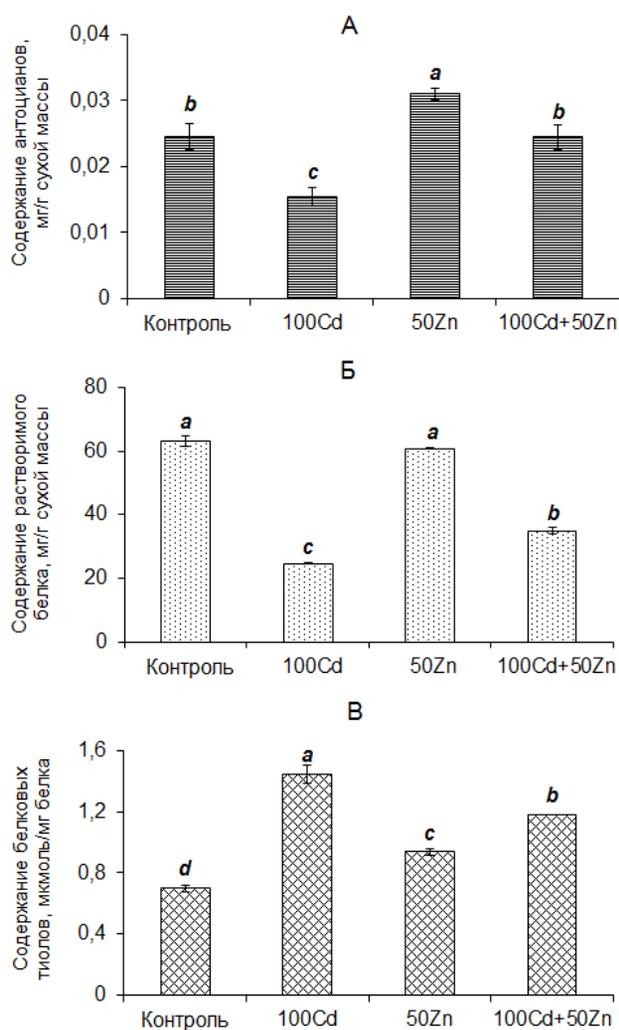


Рис. 3. Содержание антоцианов (А), растворимого белка (Б) и растворимых тиолов (В) в листьях *E. canadensis* при инкубировании в среде с металлами

Существенное снижение количества растворимого белка в листьях элодеи (в 2,5 раза от контроля, рис. 3Б) также свидетельствует о сильном токсичном действии ионов кадмия, способных вызывать его разрушение [6]. Между накоплением в листьях  $Cd^{2+}$  и содержанием растворимого белка обнаружена высокая отрицательная корреляция ( $r = -0,93$  при  $p < 0,0001$ ).

Окислительные повреждения молекул белков и других биомолекул в присутствии  $Cd^{2+}$  обусловлены генерацией АФК в клетке. Подтверждением этому являются данные о существенном повышении активности липоксигеназы и интенсивности перекисного окисления липидов под действием  $Cd^{2+}$  даже при его пониженной концентрации (10 мкмоль) [5], [7]. В частности, показано, что ионы кадмия могут вызывать окисление NADPH, при котором образуются свободные супероксид анион радикалы, в то время как ионы цинка могут противодействовать деструктивному воздействию этого металла [6].

В нашем исследовании  $Zn^{2+}$  в концентрации 50 мкмоль не оказывал влияния на содержание растворимого белка. Однако при совместном действии  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  содержание белка было в 1,8 раза ниже, чем в контроле, однако на 42 % выше, чем при раздельном внесении  $Cd^{2+}$ . Таким образом, результаты нашего исследования подтверждают выводы зарубежных авторов о способности цинка снижать окислительное повреждение белков, вызванное высокими концентрациями кадмия [6], [7].

Одним из наиболее эффективных механизмов детоксикации ТМ у растений и других организмов является их связывание низкомолекулярными белками и пептидами, обогащенными SH-группами (металлотионеинами и фитохелатинами). Эти соединения синтезируются в норме в незначительном количестве. Однако показано, что их содержание резко возрастает при действии ТМ (не только в модельных условиях, но и в природных местообитаниях) [8], [10], [20].

Ионы кадмия обладают сильным сродством к сульфгидрильным группам некоторых соединений, в том числе металлотионеинподобных протеинов [25]. Содержание растворимых белковых тиолов в листьях элодеи при инкубировании с  $Cd^{2+}$  коррелировало с его накоплением ( $r = 0,98$  при  $p < 0,0001$ ), что подтверждает важную роль этих соединений в детоксикации кадмия. В присутствии кадмия содержание растворимых тиолов увеличивалось в 2 раза, при действии цинка – на 27 % (рис. 3В).

В наших исследованиях, проведенных ранее на *Lemna trisulca*, было также показано значительное дозозависимое увеличение содержания растворимых тиолов при инкубировании с  $Cd^{2+}$  (1–100 мкмоль) в течение 7 сут [16].

При совместном действии кадмия и цинка количество растворимых белковых тиолов в листьях элодеи также возрастало (хотя и в меньшей степени, чем при действии  $Cd^{2+}$ ) (см. рис. 3В).

Известно, что важную роль при окислительном стрессе, вызванном действием различных поллютантов, играют ферменты-антиоксиданты, важнейшим из которых является СОД [26]. Этот фермент катализирует реакцию восстановления супероксид-радикала до пероксида водорода [1], [12].

Кадмий, взаимодействуя с ферментами, обычно ингибирует их активность. В большинстве случаев инактивация фермента под воздействием  $Cd^{2+}$  обусловлена взаимодействием металлов с SH-группами фермента [6], [25]. Однако кадмий может не только связывать SH-группы, но и вызывать окислительную деструкцию полимеров. Кроме того, известно, что ионы металлов (включая кадмий и цинк) могут замещать металлы-кофакторы в молекулах ферментов, оказывая влияние на их активность [6].

В присутствии  $Cd^{2+}$  активность СОД, рассчитанная на белок, возрастала в 1,7 раза (рис. 4А) и положительно коррелировала с накоплением кадмия в листьях ( $r = 0,93$  при  $p < 0,0001$ ). Повышенное ее значение при действии  $Cd^{2+}$  отчасти связано с резким снижением содержания в листьях элодеи растворимого белка (см. рис. 3А), что подтверждается отрицательной корреляцией между активностью этого фермента и количеством белка ( $r = -0,87$  при  $p < 0,001$ ). При этом активность СОД в расчете на сухую массу была достоверно ниже (в 1,5 раза), чем в контроле.

Инкубирование с  $Zn^{2+}$  немного увеличивало активность СОД (как на белок, так и на сухую массу) по сравнению с контролем, но различия были недостоверными (см. рис. 4А). При совместном действии  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  активность СОД (в расчете на белок) оставалась примерно на том же уровне, что и при отдельном действии  $Cd^{2+}$ , поскольку содержание белка также достоверно снижалось от контроля. В то же время при расчете на сухую массу снижение активности фермента проявлялось в меньшей степени, чем при действии одного кадмия, что свидетельствует о протекторной роли цинка.

В детоксикации АФК, в частности пероксида водорода, важную роль играют каталаза и различные пероксидазы [5], [12], [26].

Инкубация элодеи на среде с добавлением кадмия вызывала снижение активности КАТ (в 2,2 раза в расчете на белок и в 4,4 раза в расчете на сухую массу) (рис. 4Б). Обнаружена отрицательная корреляция между содержанием  $Cd^{2+}$  и активностью этого фермента ( $r = -0,8$  при  $p < 0,05$ ). Вероятно, в данном случае имела место инактивация КАТ, что нередко наблюдается при сильном окислительном стрессе [6], [9], [12].

По-видимому, в этих условиях более важную роль играли другие ферменты-антиоксиданты, способные восстанавливать пероксид водорода до воды (аскорбатпероксидаза, глутатионпероксидаза, гваяколпероксидаза и др.). Возможность активации этих ферментов при снижении активности КАТ показана в обзоре [12].

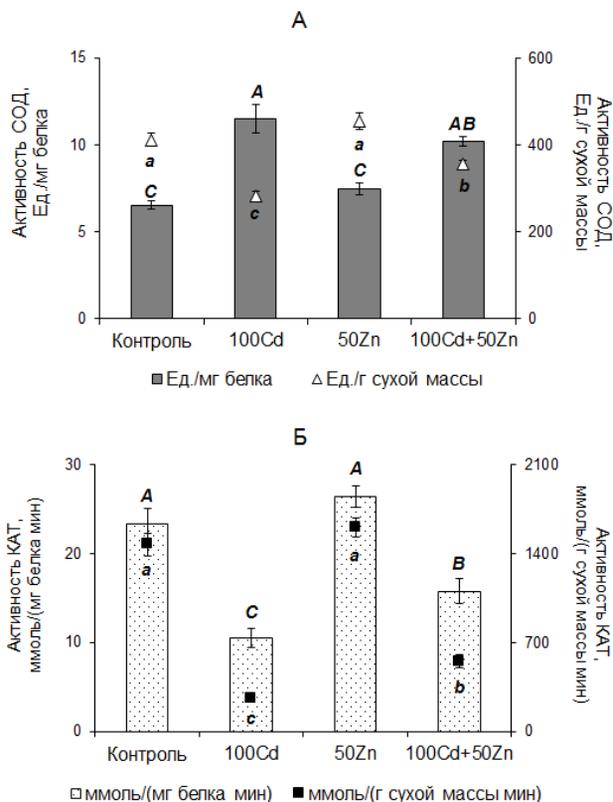


Рис. 4. Активность супероксиддисмутазы (А) и каталазы (Б) в листьях *E. canadensis* при инкубировании в среде с металлами

Инкубирование растений с  $Zn^{2+}$  не приводило к достоверному изменению активности КАТ по сравнению с контролем (см. рис. 4Б). При совместном присутствии ионов ее активность снижалась, однако в меньшей степени, чем при раздельном внесении  $Cd^{2+}$ . В целом изменение активности КАТ положительно коррелировало с изменением содержания растворимого белка ( $r = 0,74$  при  $p < 0,05$ ).

Таким образом, проведенные исследования показали, что совместное действие металлов влияло на процессы их поглощения листьями *E. canadensis* и приводило к снижению степени аккумуляции как  $Cd^{2+}$ , так и  $Zn^{2+}$ . Под действием сублетальной концентрации кадмия у элодеи достоверно снижались содержание фотосинтетических пигментов, антоцианов, растворимого белка и активность КАТ, в то время как содержание растворимых тиолов и активность СОД (в расчете на белок) повышались. Присутствие в среде  $Zn^{2+}$  ослабляло токсическое действие кадмия на исследованные параметры. Вероятно, это объясняется не только ингибированием поглощения  $Cd^{2+}$  в присутствии  $Zn^{2+}$ , но и способностью этого биогенного металла препятствовать окислению некоторых биомолекул и образованию активных форм кислорода.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. М.: Дрофа, 2010. 638 с.
2. Малева М. Г., Чукина Н. В., Борисова Г. Г. Взаимное действие ионов кадмия и марганца на погруженные макрофиты (на примере элодеи канадской) // Водное хозяйство России. 2016. № 3. С. 82–91.
3. Методы оценки антиоксидантного статуса растений: Учебно-метод. пособие / Г. Г. Борисова и др.; Отв. ред. Н. В. Чукина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. 72 с.
4. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
5. Aravind P., Prasad M. N. V. Zinc alleviates cadmium-induced oxidative stress in *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. *Plant Physiol. Biochem.* 2003. Vol. 41. P. 391–397. DOI: 10.1016/S0981-9428(03)00035-4.
6. Aravind P., Prasad M. N. V. Cadmium-zinc interactions in hydroponic system using *Ceratophyllum demersum*: adaptive plant ecophysiology, biochemistry and molecular toxicology. *Braz. J. Plant Physiol.* 2005. Vol. 17. No 1. P. 3–20. DOI:10.1590/S1677-04202005000100002.
7. Aravind P., Prasad M. N. V., Malec P., Waloszek A., Strzalka K. Zinc protects *Ceratophyllum demersum* L. (free-floating hydrophyte) against reactive oxygen species induced by cadmium. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2009. Vol. 23. P. 50–60. DOI: 10.1016/j.jtemb.2008.10.002.
8. Borisova G., Chukina N., Maleva M., Kumar A., Prasad M. N. V. Thiols as biomarkers of heavy metal tolerance in the aquatic macrophytes of Middle Urals, Russia. *Int. J. Phytorem.* 2016. Vol. 18. No 10. P. 1037–1045. DOI: 10.1080/15226514.2016.1183572.
9. Chaoui A., Mazhoudi S., Ghorbal M. H., Ferjani E. E. Cadmium and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Sci.* 1997. Vol. 127. P. 139–147. DOI:10.1016/S0168-9452(97)00115-5.
10. Cobbet C. S., Goldsbrough P. Phytochelatins and metallothioneins: roles in heavy metal detoxification and homeostasis. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 2002. Vol. 53. P. 159–182. DOI:10.1146/annurev.arplant.53.100301.135154.
11. Edge R., McGarvey D. J., Truscott T. G. The carotenoids as antioxidants – a review. *Photochem. Photobiol. Ser. Biol.* 1997. Vol. 41. P. 189–200.
12. Gratão P. L., Polle A. Making life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biol.* 2005. Vol. 32. P. 481–494.
13. Hou W., Chen X., Song G., Wang Q., Chang C. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). *Plant Physiol. Biochem.* 2007. Vol. 45. No 1. P. 62–69.
14. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, CRC Press, 2001. 403 p.
15. Krupa Z., Baranowska M., Orzol D. Can anthocyanins be considered as heavy metal stress indicator in higher plants? *Acta Physiol. Plant.* 1996. Vol. 18. No 2. P. 147–151.
16. Landi M., Tattini M., Gould K. S. Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environ. Experiment. Bot.* 2015. Vol. 119. P. 4–17. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.012.
17. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Meth. Enzymol.* 1987. Vol. 148. P. 350–382. DOI:10.1016/0076-6879(87)48036-1.
18. Malec P., Maleva M., Prasad M. N. V., Strzalka K. Responses of *Lemna trisulca* L. (Duckweed) exposed to low doses of cadmium: thiols, metal binding complexes, and photosynthetic pigments as sensitive biomarkers of ecotoxicity. *Protoplasm.* 2010. Vol. 240. P. 69–74. DOI: 10.1007/s00709-009-0091-2.
19. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. London, Academic Press, 1995. 889 p.
20. Mishra S., Tripathi R. D., Srivastava S., Dwivedi S., Trivedi P. K., Dhankher O. P., Khare A. Thiol metabolism play significant role during cadmium detoxification by *Ceratophyllum demersum* L. *Biore-source Technol.* 2009. Vol. 100. P. 2155–2161.
21. Nadia A. A., Pilar M. B., Ater M. Tolerance and bioaccumulation of cadmium by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc. *Aquat. Bot.* 2004. Vol. 80. P. 163–167.
22. Nazar R., Iqbal N., Masood A., Khan R., Syeed S., Khan N. A. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *American J. Plant Sci.* 2012. Vol. 3. P. 1476–1489. DOI: 10.4236/ajps.2012.310178.
23. Ouzounidou G., Moustakas M., Eleftheriou E. P. Physiological and ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. *Environ. Contamin. Toxicol.* 1997. Vol. 32. No 2. P. 154–160.
24. Posmyk M. M., Janas K. M., Kontek R. Red cabbage anthocyanin extract alleviates copper-induced cytological disturbances in plant meristematic tissue and human lymphocytes. *BioMetals.* 2009. Vol. 22. P. 479–490. DOI: 10.1007/s10534-009-9205-8.
25. Seregin I. V., Ivanov V. B. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 2001. Vol. 48. No 4. P. 523–544.
26. Upadhyay R. K. Metal stress in plants: its detoxification in natural environment. *Braz. J. Bot.* 2014. Vol. 37. P. 377–382.

**Maleva M. G.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

**Chukina N. V.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

**Borisova G. G.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

**Sedyayeva O. V.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

**Panikovskaya K. A.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

## RESPONSES OF *ELODEA CANADENSIS* TO THE CADMIUM AND ZINC IONS ACTION

A response of the submerged macrophyte (*Elodea canadensis* Michx.) to the action of toxic metal (cadmium) and biogenic metal (zinc) has been studied in model systems. The separate and combined effect of the sublethal concentration of Cd<sup>2+</sup> (100 μmol) and moderate concentration of Zn<sup>2+</sup> (50 μmol) on their accumulation, content of photosynthetic pigments and antioxidant reactions in the leaves of *E. canadensis* was investigated. The role of zinc in counteracting the toxic effects of cadmium has been studied. During incubation of plants in a medium with Cd<sup>2+</sup>, its content in leaves was increased by 780 times in comparison with the control group. The incubation with Zn<sup>2+</sup> increased its accumulation by 23 times. Addition of both metals reduced accumulation of Zn<sup>2+</sup> by 1,6 times,

whereas Cd<sup>2+</sup> – 1,4 times. Cadmium ions caused a decrease in the amount of photosynthetic pigments, anthocyanins, soluble protein, and catalase activity, while the activity of superoxide dismutase and the content of soluble protein thiols (per mg of protein) increased. Zinc ions caused degradation of chlorophylls, but stimulated the process of synthesis of carotenoids and anthocyanins in the leaves of *E. canadensis*. Adding zinc to the medium with cadmium reduced the toxic effect of the latter. This phenomenon is probably conditioned by the inhibition of Cd<sup>2+</sup> accumulation in the presence of Zn<sup>2+</sup>, as well as by the ability of this biogenic metal to inhibit oxidation of biomolecules and, consequently, further generation of reactive oxygen species.

Key words: *Elodea canadensis*, cadmium, zinc, ion interaction, accumulation, toxicity, photosynthetic pigments, antioxidant system

\* The work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, agreement No 02.A03.21.0006.

#### REFERENCES

1. Koshkin E. I. Physiology of agricultural crops resistance. Moscow, Drofa Publ., 2010. 638 p. (In Russ.)
2. Maleva M. G., Chukina N. V., Borisova G. G. The mutual effect of cadmium and manganese ions on submerged macrophytes (on the example of the *Elodea canadensis*). *Vodnoe khozyaystvo Rossii*. 2016. No 3. P. 82–91. (In Russ.)
3. Methods for assessing the antioxidant status of plants. G. G. Borisova i dr.; Otv. red. N. V. Chukina. Ekaterinburg, Izd-vo Ural. un-ta, 2012. 72 p. (In Russ.)
4. Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M., Lajdinen G. F. The tolerance of plants to heavy metals. Petrozavodsk, Karef'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2007. 172 p. (In Russ.)
5. Aravind P., Prasad M. N. V. Zinc alleviates cadmium-induced oxidative stress in *Ceratophyllum demersum* L.: a free floating freshwater macrophyte. *Plant Physiol. Biochem.* 2003. Vol. 41. P. 391–397. DOI: 10.1016/S0981-9428(03)00035-4.
6. Aravind P., Prasad M. N. V. Cadmium-zinc interactions in hydroponic system using *Ceratophyllum demersum*: adaptive plant ecophysiology, biochemistry and molecular toxicology. *Braz. J. Plant Physiol.* 2005. Vol. 17. No 1. P. 3–20. DOI:10.1590/S1677-04202005000100002.
7. Aravind P., Prasad M. N. V., Malec P., Waloszek A., Strzalka K. Zinc protects *Ceratophyllum demersum* L. (free-floating hydrophyte) against reactive oxygen species induced by cadmium. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2009. Vol. 23. P. 50–60. DOI: 10.1016/j.jtemb.2008.10.002.
8. Borisova G., Chukina N., Maleva M., Kumar A., Prasad M. N. V. Thiols as biomarkers of heavy metal tolerance in the aquatic macrophytes of Middle Urals, Russia. *Int. J. Phytorem.* 2016. Vol. 18. No 10. P. 1037–1045. DOI: 10.1080/15226514.2016.1183572.
9. Chaoui A., Mazhoudi S., Ghorbal M. H., Ferjani E. E. Cadmium and zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Sci.* 1997. Vol. 127. P. 139–147. DOI:10.1016/S0168-9452(97)00115-5.
10. Cobbet C. S., Goldsbrough P. Phytochelatin and metallothioneins: roles in heavy metal detoxification and homeostasis. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 2002. Vol. 53. P. 159–182. DOI:10.1146/annurev.arplant.53.100301.135154.
11. Edge R., McGarvey D. J., Truscott T. G. The carotenoids as antioxidants – a review. *Photochem. Photobiol. Ser. Biol.* 1997. Vol. 41. P. 189–200.
12. Gratão P. L., Polle A. Making life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biol.* 2005. Vol. 32. P. 481–494.
13. Hou W., Chen X., Song G., Wang Q., Chang C. Effects of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*). *Plant Physiol. Biochem.* 2007. Vol. 45. No 1. P. 62–69.
14. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, CRC Press, 2001. 403 p.
15. Krupa Z., Baranowska M., Orzol D. Can anthocyanins be considered as heavy metal stress indicator in higher plants? *Acta Physiol. Plant.* 1996. Vol. 18. No 2. P. 147–151.
16. Landi M., Tattini M., Gould K. S. Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environ. Experiment. Bot.* 2015. Vol. 119. P. 4–17. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.012.
17. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Meth. Enzymol.* 1987. Vol. 148. P. 350–382. DOI:10.1016/0076-6879(87)48036-1.
18. Malec P., Maleva M., Prasad M. N. V., Strzalka K. Responses of *Lemna trisulca* L. (Duckweed) exposed to low doses of cadmium: thiols, metal binding complexes, and photosynthetic pigments as sensitive biomarkers of ecotoxicity. *Protoplasma.* 2010. Vol. 240. P. 69–74. DOI: 10.1007/s00709-009-0091-2.
19. Marschner H. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. London, Academic Press, 1995. 889 p.
20. Mishra S., Tripathi R. D., Srivastava S., Dwivedi S., Trivedi P. K., Dhankher O. P., Khare A. Thiol metabolism play significant role during cadmium detoxification by *Ceratophyllum demersum* L. *Biore-source Technol.* 2009. Vol. 100. P. 2155–2161.
21. Nadia A. A., Pilar M. B., Ater M. Tolerance and bioaccumulation of cadmium by *Phragmites australis* grown in the presence of elevated concentrations of cadmium, copper, and zinc. *Aquat. Bot.* 2004. Vol. 80. P. 163–167.
22. Nazar R., Igbal N., Masood A., Khan R., Syeed S., Khan N. A. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. *American J. Plant Sci.* 2012. Vol. 3. P. 1476–1489. DOI: 10.4236/ajps.2012.310178.
23. Ouzounidou G., Moustakas M., Eleftheriou E. P. Physiological and ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. *Environ. Contamin. Toxicol.* 1997. Vol. 32. No 2. P. 154–160.
24. Posmyk M. M., Janas K. M., Kontek R. Red cabbage anthocyanin extract alleviates copper-induced cytological disturbances in plant meristematic tissue and human lymphocytes. *BioMetals.* 2009. Vol. 22. P. 479–490. DOI: 10.1007/s10534-009-9205-8.
25. Seregin I. V., Ivanov V. B. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 2001. Vol. 48. No 4. P. 523–544.
26. Upadhyay R. K. Metal stress in plants: its detoxification in natural environment. *Braz. J. Bot.* 2014. Vol. 37. P. 377–382.

Поступила в редакцию 06.02.2018

**НАДЕЖДА ПЕТРОВНА ЧЕРНОБРОВКИНА**

доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*chernobrovkina50@bk.ru*

*Рец. на кн.: Марковская Е. Ф., Шмакова Н. Ю. Растения и лишайники Западного Шпицбергена: экология, физиология / Е. Ф. Марковская, Н. Ю. Шмакова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, федер. гос. бюджет. учреждение науки Полярно-альпийский ботан. сад-ин-т им. Н. А. Аврорина, федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2017. – 270 с.*

Монография «Растения и лишайники Западного Шпицбергена: экология, физиология» написана известными учеными в области физиологии и биохимии растений, экологии Евгенией Федоровной Марковской, Натальей Юрьевной Шмаковой и посвящена исследованиям эколого-физиологических особенностей растений и лишайников, произрастающих в суровых условиях архипелага Шпицберген. Согласно Стратегии развития Арктической зоны, одной из приоритетных задач социально-экономического развития является обеспечение экологической безопасности, где большая роль отводится природному комплексу. Увеличение антропогенной нагрузки в арктическом регионе связано с разработкой и освоением месторождений полезных ископаемых, проблемами обеспечения безопасности их транспортировки и проведением комплексных научно-исследовательских работ по мониторингу окружающей среды, экологических систем и биоресурсов. Акцентируется внимание на вопросе о сохранении природных экосистем и выявлении их адаптационного потенциала при естественных природных и антропогенных воздействиях.

По мнению авторов, современный интерес к Арктике определяется не только активизацией в направлении ее ресурсного богатства, но реакцией природного комплекса на возможные изменения климата, увеличение техногенной нагрузки и их адаптивный потенциал. Вопрос о путях и закономерностях формирования флоры и лишайнобиоты Арктики исследуется в связи с адаптацией автотрофных организмов разных экологических групп и географических ареалов, которые осваивают материковые и островные территории в высоких широтах с их экстремальными климатическими условиями. Разнородный состав арктической флоры, включающий таксономические группы разного геологического возраста и центров миграции, может свидетельствовать о различных путях адаптации. Изучение закономерностей приспособительных реакций растений к арктическим условиям среды имеет

большое общебиологическое значение. Исследования истории происхождения растений, закономерностей их адаптации к условиям среды могут быть использованы также при поиске путей целенаправленного изменения их биохимического состава для дальнейшего применения в фармацевтике. Несмотря на многочисленные исследования отечественных и зарубежных ученых в разных районах Арктики, обзорные отечественные работы, посвященные эколого-физиологическим особенностям арктических растений, единичны.

В книге рассматриваются климатические особенности этого региона, которые включают экстремально высокие и низкие температуры, короткий вегетационный период с круглосуточным полярным днем, продолжительную зиму с круглосуточной полярной ночью, нестабильный уровень освещенности в сочетании с особенностями спектрального состава света, ветра и шторма, разные виды осадков и самые неожиданные сочетания этих факторов. Проведенный авторами анализ и обобщение литературных данных показали, что растения в условиях Арктики находятся в разном функциональном состоянии. При этом выделяют три основные стратегии: растение адаптировано к широкому спектру условий на всех уровнях организации; растение адаптировано к локальному спектру условий и имеет некоторые структурно-функциональные ограничения; растение обитает на единичных локальных местообитаниях и находится на пределе выживания.

По наблюдениям авторов, адаптация растений к условиям Арктики затрагивает, прежде всего, активность фотосинтетического аппарата. Количественные данные о содержании фотосинтетических пигментов могут рассматриваться как компонент эколого-физиологической характеристики, позволяющей, вместе с другими параметрами функциональной активности, выявлять особенности адаптации вида, обеспечивающие успешное существование растений и лишайников в экстремальных условиях среды. Отмечается, что низкое содержание хлорофиллов

является важным показателем высокого уровня адаптации растения. Среди исследованных 98 видов растений 15 видов имеют низкие значения содержания хлорофиллов, 21 вид – высокое и 62 вида – среднее содержание суммы хлорофиллов. В группе с низким содержанием пигментов (до 0,7 мг/г сырой массы) доминируют виды арктической фракции (за исключением группы метаарктических видов) с циркумполярным и амфиокеаническим типом распространения. В бореальной фракции не отмечено видов растений с низким содержанием хлорофиллов. В группе со средними значениями (до 1,3 мг/г сырой массы) содержания хлорофиллов представлены растения всех широтных географических элементов, но доминируют виды арктической фракции (в основном арктические и арктоальпийские виды) с циркумполярными ареалами. Единично представлены гипоарктические и арктобореальные виды. По соотношению долготных элементов доминируют виды с циркумполярными типами распространения, однако имеются также виды с амфиокеаническими, евразийскими и американскими типами распространения. В группе видов с высоким содержанием хлорофиллов (выше 1,3 мг/г сырой массы) доминируют арктические виды, с меньшим участием – метаарктические и арктоальпийские, роль гипоарктических и арктобореальных видов незначительна. По соотношению долготных элементов лидируют виды с циркумареалами, значима доля видов с европейскими типами распространения, роль других видов незначительна.

В работе отмечается, что флора Арктики представлена видами высших сосудистых растений с различными широтными и долготными географическими элементами и с различным диапазоном содержания хлорофиллов. Наибольший спектр широтных и долготных элементов отмечен в группе видов со средними величинами содержания хлорофиллов. Предполагается, что содержание хлорофиллов является генетически детерминированным и может рассматриваться как фактор географического распространения растений. Среди арктических видов арктической фракции флоры большинство составляют виды со средними значениями содержания хлорофиллов, далее идет группа с высоким содержанием и минимально участие видов с низкими значениями. Метаарктическая группа этой же фракции отличается отсутствием видов с низкими значениями, два других диапазона содержания хлорофиллов представлены примерно равноценно. Арктоальпийская группа отличается от всех элементов арктической фракции высокой долей видов с низким содержанием хлорофиллов при доминировании среднего диапазона содержания хлорофиллов. Гипоарктическая фракция представлена также в большинстве видами со средним содержанием хлорофиллов. Арктобореальная

фракция отличается отсутствием видов с низкими значениями суммы хлорофиллов и максимальным количеством видов со средним содержанием.

В группе циркумполярных видов растения со средним содержанием хлорофиллов составляют большинство. Амфиокеанические виды, как правило, попадают в диапазон с низкими и средними значениями содержания хлорофиллов. Группа видов с американским типом распространения отличается достаточно широким диапазоном содержания хлорофиллов в целом, но также с доминированием видов со средними величинами. Евразийские виды отличаются отсутствием низких значений содержания хлорофилла и доминированием видов со средними значениями. У европейских видов отмечается доминирование видов с высоким содержанием хлорофиллов.

На основании анализа собственных и литературных данных авторами подтверждена закономерность снижения суммарного содержания хлорофиллов при продвижении в высокие широты. Определенные ограничения отмечаются для видов, которые имеют область оптимума в более южных тундрах на широтном градиенте и более благоприятные климатические условия на долготном градиенте. Среди этих групп имеются виды, которым удастся продвинуться достаточно высоко на север со снижением или без изменения содержания хлорофиллов. Пути адаптации их к условиям Арктики остаются неясными. При этом доминирующую роль в растительном покрове Арктики имеют виды цветковых растений арктической фракции со средними значениями содержания хлорофиллов.

Низкая температура в сочетании с невысокой освещенностью являются экстремальными условиями для фотосинтеза растений в высоких широтах, что может приводить к энергетическому дисбалансу между фотохимией, транспортом электронов и метаболизмом и, как следствие, к перевосстановленности компонентов электрон-транспортной цепи хлоропластов, что вызывает окислительный стресс у растений. Это приводит к дополнительной активизации систем антиоксидантной защиты, которая кодируется и регулируется геномом. Коррекция этого состояния производится за счет диссипации избыточной энергии, что обеспечивает восстановление окислительно-восстановительного статуса организма, соответствующего нормальному метаболизму, и является основным условием выживания растений в Арктике.

На основании анализа собственных экспериментальных данных и литературных сведений авторы сделали заключение о том, что на Шпицбергене возможны две классические стратегии адаптации растений к условиям среды. Одна связана с «избеганием» и «поиском» в новых климатических условиях тех локальных местообитаний, которые могут соответствовать

потребностям вида. Динамика его ответных реакций связана на первых этапах с сохранением содержания пигментов и функциональной активности, а при выходе за пределы этих изолированных экотопов отмечается постепенная деградация процессов роста и развития, что сменяется гибелью растения. Второй путь связан с «адаптацией» – активным процессом, который включает спектр разнообразных приспособлений, как на уровне структуры, так и функции. Это может включать объединение отдельных растений в маты, что обеспечивает локальное повышение температуры и более полное поглощение световой энергии; увеличение размеров ассимиляционного аппарата за счет формирования жизненной формы «подушка»; снижение содержания хлорофилла, что обеспечивает уменьшение энергетических расходов на его защиту и поддержание в условиях круглосуточного освещения и низкой температуры. У этих видов за счет выбора широкого спектра экотопов основная часть энергетических процессов направлена на поддержание системы вегетативных и репродуктивных органов, при этом происходит снижение их продуктивности. Эти две стратегии, по мнению авторов, нельзя рассматривать отдельно, поскольку имеются сходные частные общие реакции, характерные для обеих групп видов. По содержанию пигментов и биологическим особенностям вида можно оценить уровень его функциональной активности в период вегетации и степень адаптированности к условиям Арктического региона.

Особое внимание отводится продуктивности сообществ арктических тундр. В условиях автономного ландшафта в приморской тундре были определены запасы надземной фитомассы в ряде наиболее характерных сообществ арктических тундр в окрестностях поселка Баренцбург. Различия в структуре и запасах фитомассы тундровых сообществ определяются мощностью снегового покрова и степенью увлажненности почвы в вегетационный сезон. Отмечается, что растительный покров сообщества арктических тундр Западного Шпицбергена представлен в большинстве 1–2 доминирующими видами сосудистых растений (*Salix polaris*, *Luzula confusa*), которые определяют величину надземной фитомассы. Основная роль в запасе надземной фитомассы принадлежит мохообразным, среди которых выделяют несколько видов (*Sanionia uncinata*, *Dicranum spadicum*, *Ptilidium ciliare*). Максимальные запасы фитомассы (827–664 г/м<sup>2</sup>) выявлены в относительно однородных по видовому составу ивово-птилидиево-саниониевом и ивово-разнотравно-моховом сообществах, где благоприятны условия увлажнения. Минимальный запас (56 г/м<sup>2</sup>) отмечен в мохово-лишайниковом сообществе с разреженным растительным покровом и пространственной неоднородностью. В структуре надземной фитомассы преобладают ассими-

лирующие органы, запасы которых определяют величину хлорофильного индекса.

В заключение следует отметить, что работа является продолжением эколого-физиологических исследований арктических растений. Особенность настоящей работы заключается в том, что в ней представлены результаты многолетних исследований физиолого-биохимических показателей, полученных на большом количестве видов высших сосудистых растений, небольшом числе мхов и лишайников арктических тундр Западного Шпицбергена. В работе содержатся новые научные данные, полученные авторами, с достаточно полной интерпретацией результатов исследований, приведено большое количество источников литературы. У арктических растений исследованы показатели роста, фотосинтетического аппарата – пигментный комплекс пластид, параметры флуоресценции хлорофилла, азотные, липидные соединения и флавоноиды. Показана роль их в адаптации различных видов к условиям Арктики. Особое внимание уделяется изучению пигментного комплекса растений и лишайников в экстремальных условиях, где оценена изменчивость этого показателя и показано его значение в адаптации разных видов. Представлены специфические для условий Арктики формы растений. Полученные результаты, касающиеся собственных экспериментальных данных, и литературные сведения обсуждаются с учетом биологических особенностей и географического происхождения видов, что позволило авторам пересмотреть и сформулировать новые представления об адаптивных особенностях растений и лишайников в условиях Арктики. Заключается, что на Шпицбергене возможны две классические стратегии адаптации растений к условиям среды. Одна из них связана с «избеганием» и «поиском» в новых климатических условиях, вторая – с «адаптацией» растений, включающей спектр разнообразных приспособлений на структурно-функциональном уровне. В работе обсуждается прогноз развития флоры Арктики в связи с глобальными климатическими изменениями.

Содержание книги великолепно дополняют уникальные фотографии объектов исследования – растений и лишайников сообществ арктических тундр острова Западный Шпицберген, а также исторические справки и фотографии памятных мест архипелага Шпицберген.

Представленные в монографии сведения и обсуждаемые авторами научные проблемы, несомненно, актуальны, будут полезны не только биологам, экологам, но и специалистам различных профилей, принимающих участие в освоении природных ресурсов Арктических территорий. Книга станет отличным пособием ученым, преподавателям и студентам биологических факультетов, а также многочисленным любителям природы и истории уникальных регионов нашей планеты.

Поступила в редакцию 16.01.2018

**ЛИДИЯ ВАСИЛЬЕВНА ВЕТЧИННИКОВА**

доктор биологических наук, заведующий лабораторией лесных биотехнологий, Институт леса – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (Петрозаводск, Российская Федерация)  
vetchin@krc.karelia.ru

**Рец. на кн.: Гербарий Петрозаводского государственного университета: история, коллекционный фонд, коллекторы, использование в научной и педагогической деятельности / [Е. Ф. Марковская, В. И. Андросова, Г. С. Антипина и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования Петрозавод. гос. ун-т. – Петрозаводск : Издательство ПетрГУ, 2017. – 230 с.**

Гербарии являются важнейшей и принципиально незаменимой основой большинства флористических и ботанико-географических исследований, позволяющей длительное время сохранять и использовать объекты растительного мира. К настоящему времени в мире насчитывается около 3 тысяч действующих гербариев, в которых хранится почти 400 миллионов образцов. Гербарий Петрозаводского государственного университета представляет собой крупнейшую коллекцию на Северо-Западе России и входит в число ведущих гербарных коллекций не только в нашей стране, но и в мире. Годом основания Гербария считается 1940, соответствующий году открытия университета, однако в нем имеются гербарные листы, датированные XIX веком, полученные позднее университетом по обмену. К настоящему времени Гербарий ПетрГУ включен в Международную базу гербариев мира с международным индексом – PZV. Вместе с тем, несмотря на значительный прогресс в систематизации коллекционного фонда и многочисленные публикации, в которых использовались его материалы, до сих пор отсутствовали широкие обобщения, в которых Гербарий ПетрГУ сам мог выступить в качестве объекта исследований.

Целью настоящей монографии явились поиск и систематизация накопленных к настоящему моменту многочисленных, порой противоречивых данных, касающихся главным образом истории создания Гербария ПетрГУ, состава гербарных коллекций и возможностей их использования в учебном процессе и научных исследованиях.

Монография состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Она знакомит читателей с ведущими гербариями мира, России и Карелии. В ней излагаются основные события истории Гербария ПетрГУ (в том числе в тяжелый период Великой Отечественной войны) и этапы формирования коллекционного фонда. Важной составляющей монографии являются биографические справки и фотографии главных

коллекторов как исторической части гербарной коллекции, так и современной. Значительный вклад в создание коллекции внесли выдающиеся отечественные ботаники XIX и XX веков – Ф. И. Рупрехт, И. П. Бородин, Ю. Д. Цинзерлинг, В. Л. Комаров, М. Л. Раменская и другие. К настоящему времени коллекционный фонд Гербария ПетрГУ составляет 76 050 образцов, он включает гербарии сосудистых растений, мохообразных, крупных водорослей, лишайников и афиллофоровидных грибов. Гербарий отражает историю изучения природных ресурсов и растительного мира Карелии, является основой создания всех выпусков «Красной Книги Республики Карелия». Целая глава в книге посвящена значению гербарной коллекции в учебном и научно-исследовательском процессах ботанического образования высшей школы, а также в природоохранной деятельности и профориентационной работе со школьниками. Коллекция гербария постоянно пополняется и оснащается технически в соответствии с современными стандартами гербарного дела.

Книга хорошо иллюстрирована. Она содержит редкие фотографии коллекторов, высококачественные иллюстрации гербарных листов и оригинально оформленные «красно- и черно-книжные» виды растений, грибов и лишайников. Представленная монография – первое издание такого рода в республике. Собственный многолетний опыт работы авторов в данном направлении и высокий профессионализм позволили найти эффективные методологические подходы к осмыслению и систематизации неоднородного научного материала.

Следует отметить высококвалифицированных дизайнеров, участвовавших в оформлении данного издания.

В целом книга может быть рекомендована для учебного процесса, а также для специалистов природоохранных организаций и широкого круга читателей – от дошкольников до пенсионеров, интересующихся природой Карелии.

Поступила в редакцию 16.01.2018

## ХРОНИКА

### ■ 21–26 января 2018 года в г. Тромсё (Норвегия) состоялась Международная конференция «Арктические рубежи-2018 – Объединяя Арктику» (Arctic Frontiers-2018 – Connecting Arctic)

Заполярный город Норвегии Тромсё с населением около 65 тысяч человек и с 2 265-километровым расстоянием до Северного полюса стал столицей крупнейшей Международной конференции «Арктические рубежи-2018 – Объединяя Арктику» (Arctic Frontiers-2018 – Connecting Arctic). Тромсё считается норвежскими «воротами в Арктику» – именно отсюда в начале XX века стартовали арктические экспедиции национальных норвежских героев Фритьофа Нансена и Руаля Амундсена. В 12-й раз более 3,5 тыс. политиков, бизнесменов, ученых, студентов из 40 стран принимали участие в этом форуме. На конференции обсуждались наиболее актуальные вопросы сотрудничества в северных широтах, освоения богатого ресурсного потенциала Арктики и сохранения ее уникальных экосистем. На церемонии открытия конференции мэрг. Тромсё г-жа Кристин Рэйму отметила: «Сегодня Арктика – небывало актуальная тема, поэтому мы должны говорить о науке, климате и его изменении, об окружающей среде, транспортных возможностях и природных ресурсах региона. Арктика – наш дом, и, чтобы мы могли здесь жить, нам необходимо сотрудничать, особенно на международном уровне».

В 2018 году программа конференции состояла из пяти основных сессий и была ориентирована по следующим направлениям: «Политика», «Бизнес», «Наука», «Арена», «Молодежь». Основной упор был сделан на выяснение таких вопросов, как состояние Арктики, технологии и связь в арктическом регионе, устойчивые арктические общества и развитие бизнеса, здоровые и продуктивные океаны, промышленность и окружающая среда. В заявлении министра иностранных дел Норвегии г-жи Ine Eriksen Søreide, распространенном накануне конференции, говорится: «Заполярные территории – один из наиболее важных объектов внимания для норвежского правительства. Международный интерес к Арктике и Северу также продолжает расти. Устойчивый экономический рост в Арктике необходим для создания новых рабочих мест, полноценного развития населенных пунктов и общин в северных регионах. Правительство Норвегии подчеркивает необходимость в поддержании конструктивного диалога на таких площадках, как Арктический совет, с тем, чтобы Арктика оставалась регионом международного сотрудничества и стабильности». Поскольку в небольшой заметке сложно охарактеризовать все аспекты работы этого форума, остановимся

на его научной составляющей. В течение 3 дней (с 23 по 25 января) было заслушано более 50 устных докладов и представлено более 60 постерных сообщений по основным темам, выбранным приоритетными для рассмотрения на конференции в 2018 году:

– Aquaculture in the North in times of changes (Аквакультура на севере во времена перемен) с подтемами: Устойчивая аквакультура на севере в эпоху изменения климата; Существование в прибрежных водах – преимущества и проблемы; Использование новых видов в аквакультуре; Будущие продукты питания и корма из морских источников; Безопасная и надежная работа аквакультуры в суровых условиях;

– The new Arctic in the Global Context (Новая Арктика в глобальном контексте): внимание было уделено таким вопросам, как быстрые изменения, происходящие в Арктике в результате глобального изменения климата: отступление морского льда, потепление поверхности океана и потепление воздушных масс, влияющих на физические и биогеохимические системы и экосистемы в Арктике.

– Resilient arctic societies and industrial development (Устойчивые арктические общества и промышленное развитие) с основными подтемами: Демографические и социально-экономические изменения; Промышленная деятельность в Арктике. Доверие, законность; Новые структуры управления и институциональное развитие;

– Circumpolar safety, search and rescue collaboration (Циркумполярная безопасность, поисково-спасательное сотрудничество).

Нами совместно с коллегами был представлен постерный доклад по теме нового (2018–2020) норвежско-российского проекта «Environmental monitoring of Arctic coastal ecosystems: Sensitivity to petroleum pollution» (Экологический мониторинг прибрежных экосистем Арктики: чувствительность к нефтяному загрязнению (Arctic EcoSens). Руководитель проекта с норвежской стороны д-р Paul E. Renaud (Akvaplan-niva AS), с российской стороны – А. И. Гранович (СПбГУ). В качестве основной фундаментальной составляющей проекта выступает оценка степени устойчивости арктических биоценозов, анализ механизмов, обеспечивающих ее в градиенте воздействий среды, и разработка новых подходов в методологии мониторинга арктических биоценозов.

*Л. А. Сергиенко,  
доктор биологических наук, профессор,  
Петрозаводский государственный университет*

## CONTENTS

### GENERAL BIOLOGY

*Ivanter E. V.*

THE EXPERIENCE OF ECOLOGICAL ANALYSIS OF MORPHOPHYSIOLOGICAL FEATURES IN SMALL MAMMALS. PART 1. THE GENERAL CHARACTERISTICS OF INTERNAL FEATURES . . . . . 7

*Medvedeva M. V., Mamai A. V., Bakhmet O. N., Moshkina E. V.*

THE MICROBIOLOGICAL BACKGROUND OF NITROGEN- AND CARBON-BEARING COMPOUNDS' TRANSFORMATIONS IN URBAN SOILS. . . . . 20

*Vasilevskaya N. V., Sidorchuk A. V.*

THE IMPACT OF INDUSTRIAL POLLUTION OF PECHENGANIKEL PLANT ON THE DYNAMICS OF *SORBUS GORODKOVII* POJARK GROWTH (MURMANSK REGION) . . . . . 28

*Lepesheva I. A., Bolgov A. E.*

MULTIPLE FACTORS OF EARLY EMBRYONIC LOSSES IN DAIRY COWS. . . . . 36

*Novitsky D. G., Ilmast N. V., Slukovskii Z. I., Suhovskaya I. V.*

BIOGEOCHEMICAL ASPECTS OF WATER BODIES POLLUTION OF URBANIZED TERRITORIES IN THE REPUBLIC OF KARELIA ON THE EXAMPLE OF PERCH *PERCA FLUVIATILIS*. . . . . 42

*Savosin D. S., Ilmast N. V., Sterligova O. P., Savosin E. S., Milyanchuk N. P.*

THE PRESENT STATE OF VENDACE *COREGONUS ALBULA* POPULATION IN LAKE GIMOLSKOYE (WESTERN KARELIA) . . . . . 52

*Filimonova E. I., Glazyrina M. A., Lukina N. V., Borisova G. G., Chukina N. V., Maleva M. G., Grosheva S. N.*

*EPIPACTIS PALUSTRIS* (L.) CRANTZ OF NIZHNETURINSKAYA POWER STATION ASH DUMP AND NATURAL HABITATS . . . . . 58

*Vasilieva E. N.*

BIOLOGICAL AND SELECTION FACTORS OF INCREASING THE QUALITY OF THE GENOTYPE BASED ON THE GENETIC ASSESSMENT OF AYRSHIRE BULLS. . . . . 67

*Liman M. S., Barulin N. V.*

THE EFFECT OF LOW INTENSITY OPTICAL RADIATION ON EMBRYOS AND LARVAE OF RAINBOW TROUT . . . . . 72

*Parinova T. A., Volkov A. G., Perkova A. A.*

RESOURCE POTENTIAL OF FLOODPLAIN MEADOWS IN ARKHANGELSK REGION . . . . . 81

*Sukhareva T. A.*

THE GREEN MOSS ELEMENTAL COMPOSITION OF THE BACKGROUND AND INDUSTRIALLY DISTURBED AREAS. . . . . 89

*Cherepanova N. S., Shirokov V. A., Georgiev A. P.*

BIOLOGY AND FISHERY FEATURES OF BREAM (*ABRAMIS BRAMA* L.) IN SOME LAKES OF KARELIAN REPUBLIC . . . . . 97

*Urbanavichus G. P., Fadeeva M. A.*

NEW RECORDS FOR LICHEN FLORA OF PASVIK RESERVE (MURMANSK REGION) . . . . . 104

### PHYSICO-CHEMICAL BIOLOGY

*Maleva M. G., Chukina N. V., Borisova G. G., Sedyayeva O. V., Panikovskaya K. A.*

RESPONSES OF *ELODEA CANADENSIS* TO THE CADMIUM AND ZINC IONS ACTION . . . . . 111

### Reviews

*Chernobrovkina N. P.*

The book review: Markovskaya E. F., Shimakova N. Yu. Plants and Lichens of the Western Spitzbergen: ecology, physiology . . . . . 119

*Vetchinnikova L. V.*

The book review: Herbarium of Petrozavodsk State University: history, collection fund, collectors, and its usage in scientific and pedagogical practice. . . . . 122

**Scientific information . . . . . 123**