

---

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

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

**№ 8 (153). Декабрь, 2015**

---

**Биологические науки**

---

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

*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.petsu.ru](http://uchzap.petsu.ru)**

## Редакционный совет

- |   |   |
|---|---|
| <b>В. Н. БОЛЬШАКОВ</b><br>доктор биологических наук,<br>профессор, академик РАН (Екатеринбург)          | <b>Н. Н. МЕЛЬНИКОВ</b><br>доктор технических наук,<br>профессор, академик РАН (Апатиты)   |
| <b>И. П. ДУДАНОВ</b><br>доктор медицинских наук,<br>профессор, член-корреспондент РАН<br>(Петрозаводск) | <b>И. И. МУЛЛОНЕН</b><br>доктор филологических наук,<br>профессор (Петрозаводск)  |
| <b>В. Н. ЗАХАРОВ</b><br>доктор филологических наук,<br>профессор (Москва)                               | <b>В. П. ОРФИНСКИЙ</b><br>доктор архитектуры, профессор,<br>действительный член Российской академии архитектуры<br>и строительных наук (Петрозаводск) |
| <b>Ю. ИНОУЭ</b><br>профессор (Токио, Япония)  | <b>П. ПЕЛКОНЕН</b><br>доктор технических наук,<br>профессор (Йоэнсуу, Финляндия)  |
| <b>А. С. ИСАЕВ</b><br>доктор биологических наук,<br>профессор, академик РАН (Москва)                    | <b>И. В. РОМАНОВСКИЙ</b><br>доктор физико-математических наук,<br>профессор (Санкт-Петербург)   |
| <b>М. ВОХОЗКА</b><br>доктор экономических наук<br>(Чешские Будейовицы, Чешская Республика)              | <b>Е. С. СЕНЯВСКАЯ</b><br>доктор исторических наук, профессор (Москва)  |
| <b>В. М. ЛЕВИН</b><br>доктор физико-математических наук,<br>профессор (Мехико, Мексика)                 | <b>К. СКВАРСКА</b><br>доктор философии (Прага, Чешская Республика)  |
| <b>Т. П. ЛЁННГРЕН</b><br>доктор философии (Тромсё, Норвегия)  | <b>А. Ф. ТИТОВ</b><br>доктор биологических наук, профессор,<br>член-корреспондент РАН (Петрозаводск)  |
| <b>В. И. МАЕВСКИЙ</b><br>доктор экономических наук, профессор,<br>академик РАН (Москва)                 | <b>Р. М. ЮСУПОВ</b><br>доктор технических наук, профессор,<br>член-корреспондент РАН (Санкт-Петербург)  |

## Редакционная коллегия

- |  |   |
|--|---|
| <b>О. Ю. БАРЫШЕВА</b><br>доктор медицинских наук<br>(Петрозаводск)                   | <b>Н. Н. НЕМОВА</b><br>доктор биологических наук,<br>профессор, член-корреспондент РАН (Петрозаводск) |
| <b>А. Е. БОЛГОВ</b><br>доктор сельскохозяйственных наук,<br>профессор (Петрозаводск) | <b>Е. И. РАТЬКОВА</b><br>кандидат технических наук,<br>ответственный секретарь серии (Петрозаводск)   |
| <b>В. В. ВАПИРОВ</b><br>доктор химических наук,<br>профессор (Петрозаводск)          | <b>А. А. РОГОВ</b><br>доктор технических наук,<br>профессор (Петрозаводск)                            |
| <b>Т. О. ВОЛКОВА</b><br>доктор биологических наук (Петрозаводск)                     | <b>Г. Б. СТЕФАНОВИЧ</b><br>доктор физико-математических наук,<br>профессор (Петрозаводск)             |
| <b>Е. Ф. МАРКОВСКАЯ</b><br>доктор биологических наук,<br>профессор (Петрозаводск)    | <b>В. И. СЫСУН</b><br>доктор физико-математических наук,<br>профессор (Петрозаводск)                  |
| <b>А. Ю. МЕЙГАЛ</b><br>доктор медицинских наук,<br>профессор (Петрозаводск)          | <b>В. В. ЩИЦОВ</b><br>доктор геолого-минералогических наук,<br>профессор (Петрозаводск)               |

---

Ministry of Education and Science  
of the Russian Federation

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

**№ 8 (153). December, 2015**

---

**Biological Sciences**

---

Chief Editor

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

Chief Deputy Editor

*Ernest V. Ivanter*, Doctor of Biological Sciences, Professor,  
The RAS Corresponding Member

*Vladimir S. Syunev*, Doctor of Technical Sciences, Professor

Executive Secretary

*Nadezhda V. Rovenko*, Candidate of Philological Sciences

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

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

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

## Editorial Council

- V. BOL'SHAKOV**  
Doctor of Biological Sciences,  
Professor, the RAS Member (Ekaterinburg)
- I. DUDANOV**  
Doctor of Medical Sciences, Professor,  
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)
- V. ZAKHAROV**  
Doctor of Philological Sciences, Professor (Moscow)
- Y. INOUE**  
Professor (Tokyo, Japan)
- A. ISAYEV**  
Doctor of Biological Sciences,  
Professor, the RAS Member (Moscow)
- M. VOCHOZKA**  
Doctor of Economic Sciences  
(Ceske Budejovice, Czech Republic)
- V. LEVIN**  
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,  
Professor (Mexico, Mexico)
- T. LÖNNGREN**  
Doctor of Philosophy (Tromsø, Norway)
- V. MAEVSKIY**  
Doctor of Economic Sciences, Professor (Moscow)
- N. MEL'NIKOV**  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor, the RAS Member (Apatity)
- I. MULLONEN**  
Doctor of Philological Sciences, Professor (Petrozavodsk)
- V. ORPHINSKIY**  
Doctor of Architecture, Professor,  
Full Member of Russian Academy of Architectural Sciences  
(Petrozavodsk)
- P. PELKONEN**  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Joensuu, Finland)
- I. ROMANOVSKIY**  
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,  
Professor (St. Petersburg)
- E. SENYAVSKAYA**  
Doctor of Historical Sciences,  
Professor (Moscow)
- K. SKWARSKA**  
Doctor of Philosophy  
(Praha, Czech Republic)
- A. TITOV**  
Doctor of Biological Sciences, Professor,  
the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)
- R. YUSUPOV**  
Doctor of Technical Sciences, Professor, the RAS  
Corresponding Member (St. Petersburg)

## Editorial Board

- O. BARYSHEVA**  
Doctor of Medical Sciences  
(Petrozavodsk)
- A. BOLGOV**  
Doctor of Agricultural Sciences,  
Professor (Petrozavodsk)
- V. VAPIROV**  
Doctor of Chemistry,  
Professor (Petrozavodsk)
- T. VOLKOVA**  
Doctor of Biological Sciences (Petrozavodsk)
- E. MARKOVSKAYA**  
Doctor of Biological Sciences,  
Professor (Petrozavodsk)
- A. MEYGAL**  
Doctor of Medical Sciences,  
Professor (Petrozavodsk)
- N. NEMOVA**  
Doctor of Biological Sciences,  
Professor, the RAS Corresponding Member (Petrozavodsk)
- E. RAT'KOVA**  
Candidate of Technical Sciences,  
Series Executive Secretary (Petrozavodsk)
- A. ROGOV**  
Doctor of Technical Sciences,  
Professor (Petrozavodsk)
- G. STEFANOVICH**  
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,  
Professor (Petrozavodsk)
- V. SYSUN**  
Doctor of Physical-Mathematical Sciences,  
Professor (Petrozavodsk)
- V. SHCHIPTSOV**  
Doctor of Geological-Mineralogical Sciences,  
Professor (Petrozavodsk)

## СОДЕРЖАНИЕ

## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

<i>Немова Н. Н., Мецержакова О. В., Чурова М. В.</i> Показатели энергетического метаболизма в процессах роста и развития лососевых рыб <i>Salmonidae</i> . . . . .	7	<i>Чукина Н. В., Кутлунина Н. А., Шаихова Д. Р., Шарнина Т. Ф., Ситников И. А., Киселева И. С.</i> Экспресс-оценка состояния вегетативных и генеративных органов травянистых растений в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината . . . . .	80
<i>Ивантер Э. В., Курхинен Ю. П.</i> Влияние интенсивной лесозексплуатации на население мелких млекопитающих Восточной Фенноскандии . . . . .	14	<b>ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ</b>	
<i>Болгов А. Е.</i> Биологические, селекционные и технологические факторы использования инноваций в племенном молочном животноводстве. . . . .	30	<i>Блажевич Л. Е., Кирилина В. М., Кивер Е. Н., Кривченко А. И.</i> Роль эпителиальных простагландинов в сокращении гладкой мускулатуры трахеи и бронхов крысы . . . . .	87
<i>Котова З. П., Евсеева Г. В., Смирнов С. Н., Евстратова Л. П., Рогов А. А., Клюкина Е. А.</i> Продуктивное долголетие многолетних злаковых травосмесей в условиях Карелии . . . . .	35	<i>Гаврилова О. И., Графова Е. О., Гольденберг П. Г.</i> Фитотестирование при оценке воздействия выпусков сточных вод загордных объектов . . . . .	92
<i>Матросова С. В., Ильмаст Н. В., Хуобонен М. Э., Бомбина М. С.</i> Эффективность выращивания радужной форели в условиях садкового хозяйства . . . . .	42	<i>Жукова О. В., Обухова Е. С., Хиожкин Е. А., Тындык М. Л., Виноградова И. А.</i> Овуляторная функция крыс в условиях блокады мелатониновых рецепторов . . . . .	98
<i>Шкляревич Г. А., Моисеева Е. А.</i> Антропогенное влияние регулируемого сброса пресных вод из систем ГЭС в Белое море на мелководных беспозвоночных. . . . .	46	<i>Мисюн Ф. А., Вапиров В. В., Поромова И. Ю., Гаврилюк И. О.</i> Микрохирургический комплекс Мисюна для воспроизведения и изучения металлоза роговицы глаза. I. Микрохирургический инструмент для внедрения микрочастиц в роговицу глаза экспериментального животного. . . . .	105
<i>Елькина Н. А., Карпова Е. Е.</i> Применение палиноиндикационного метода для оценки адаптивного потенциала приморских растений западного побережья Белого моря . . . . .	52	<i>Завгородняя Р. Е.</i> Микроэлементный состав некоторых торфяных почв Карелии разных сроков освоения . . . . .	111
<i>Игнатенко Р. В., Тарасова В. Н.</i> Состояние популяций охраняемого лишайника <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. при разном уровне антропогенной нагрузки. . . . .	57	<i>Крыжко А. В., Кузнецова Л. Н.</i> Влияние биоинсектицидов на основе <i>Bacillus thuringiensis</i> на качество клубней картофеля . . . . .	115
<i>Мамонтова О. В.</i> Особенности паразитофауны палии <i>Salvelinus alpinus</i> L. Ладожского озера. . . . .	65	<b>Юбилей</b> К 80-летию Э. В. Ивантера. . . . .	120
<i>Сунгурова Н. Р., Худяков В. В.</i> Ассимиляционный аппарат в культурах сосны . . . . .	68	<b>Научная информация</b> . . . . .	121
<i>Урбанавичене И. Н., Урбанавичюс Г. П.</i> Дополнения к лишенофлоре Мордовского заповедника, Республики Мордовия и Средней России. . . . .	75	<b>Информация для авторов</b> . . . . .	123
		<b>Contents</b> . . . . .	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>**

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

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

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

Дата выхода в свет 25.12.2015. Формат 60×90<sup>1/8</sup>. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 140 экз.). Изд. № 482

Индекс 66093. Цена свободная.

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

Отпечатано в типографии Издательства Петрозаводского государственного университета

Адрес редакции, издателя и типографии:

185910, Республика Карелия,  
г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

**НИНА НИКОЛАЕВНА НЕМОВА**

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

*nemova@krc.karelia.ru*

**ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА МЕЩЕРЯКОВА**

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической биохимии, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

*o-mesch@yandex.ru*

**МАРИЯ ВИКТОРОВНА ЧУРОВА**

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

*mchurova@yandex.ru*

**ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТАБОЛИЗМА В ПРОЦЕССАХ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ *SALMONIDAE*\***

Дан анализ литературных сведений и материалов собственных исследований о роли энергетического метаболизма в процессах роста и развития рыб, главным образом Лососевых *Salmonidae*. Изучение механизмов регуляции энергетического метаболизма в период раннего развития имеет особое значение для рыб, обитающих в природных водоемах, где организмы испытывают воздействие целого ряда факторов. Анализ литературы показывает, что такие сведения немногочисленны, основные исследования связаны с изучением лососевых рыб – объектов аквакультуры. Рассмотрена возможность использования некоторых биохимических и молекулярно-генетических показателей энергетического статуса для изучения процессов роста и развития лососевых рыб.

Ключевые слова: лососевые рыбы, раннее развитие, биохимия, энергетический метаболизм, ферменты, молекулярно-генетические показатели

**ВВЕДЕНИЕ**

Жизненный цикл лососевых рыб включает необычайно интересные и разнообразные этапы развития со сложной системой адаптаций, таких, например, как ранняя дифференциация эмбрионов, личинок и мальков одной генерации, приводящая к образованию сложной возрастной и субпопуляционной структуры, поддерживающей внутривидовое биоразнообразие и устойчивость воспроизводства популяций [2], [9], [23]. Для них характерны поведенческие реакции, в основе которых лежит различное сочетание пищевой, оборонительной, исследовательской и социальной активности молоди, кочевой и миграционный факторы [1], [23]. На протяжении многовековой истории освоения северной части Европы и Северной Америки одним из наиболее ценных объектов промысла оставался атлантический лосось *Salmo salar* L. – холодноводный проходной вид, который нерестится в реках на быстрых порогах и перекатах [1]. Раннее развитие лосося сопровождается существенными морфологическими и функциональными преобразованиями, приводящими к перестройкам клеточного метаболизма,

изменениям скорости и направления ключевых реакций энергетического и пластического обмена, регуляции соотношения различных путей углеводного, липидного и белкового метаболизма [2], [7], [9]. В основе развития разнообразных компенсаторных реакций клетки лежат биохимические механизмы. Если условия среды изменяются или организм переходит на новую стадию развития, возникают новые метаболические задачи, для решения которых необходимы количественные и качественные преобразования обмена веществ. Изучение эколого-биохимических механизмов регуляции процессов созревания и развития лососевых рыб наряду со значением для выявления особенностей развития вида представляет несомненный интерес для решения как общих проблем биологии индивидуального развития организмов, так и частных проблем поддержания внутривидового биоразнообразия и сохранения отдельных популяций. В статье рассматриваются вопросы, касающиеся роли энергетического обмена у рыб (преимущественно лососевых) как одного из главных метаболических факторов, определяющих нормальное

функционирование организма, его полноценный рост и развитие, а также способность адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СТАТУС В ПРОЦЕССАХ РОСТА И РАЗВИТИЯ РЫБ

В период активного роста организма энергия необходима для синтеза структурных и функциональных молекул, а также запасных веществ. Потребности организма в энергии возрастают при смене этапов жизненного цикла, адаптации к новым условиям среды, миграциях и воздействию неблагоприятных факторов среды. Изменение условий или стратегии существования приводит к усилению многих специфических клеточных функций и использованию дополнительных пластических ресурсов, что требует повышенного энергообеспечения для поддержания метаболического и физиологического гомеостаза организма. Основопологающими процессами образования энергии АТФ у рыб и других высших животных являются два метаболических пути: аэробный путь синтеза АТФ и анаэробный – гликолиз, идущий до образования молочной кислоты. Оба эти процесса играют важную роль в энергообеспечении клеток различных органов и тканей организма, однако интенсивность каждого из них определяется метаболическими условиями, скоростью потребления АТФ и функцией клеток того или иного органа.

Важнейшим процессом образования энергии в клетках большинства органов высших животных является аэробный синтез АТФ (тканевое дыхание), протекающий в митохондриях. Несмотря на свой относительно молодой возраст в эволюции, такие свойства процесса, как высокая эффективность и экономичность, возможность использования любых энергетических субстратов (промежуточных продуктов распада углеводов, жиров и белков), определили его первостепенное значение среди всех способов получения энергии у ныне существующих высших организмов. При определенных физиологических состояниях у высших животных, например при высокой скорости потребления АТФ интенсивно работающими мышцами, или в условиях гипоксии и аноксии возрастает роль анаэробного метаболизма (анаэробного гликолиза) в поддержании необходимого уровня синтеза АТФ.

Аэробный синтез АТФ свойственен большинству тканей и органов рыб, обуславливает активный рост и развитие организма, особенно в период раннего онтогенеза [3], [6], [7], [8], [13]. Снижение уровня аэробного синтеза АТФ в органах и тканях рыб проявляется замедлением тем-

пов их роста, снижением физической активности, иммунной защиты и способности адаптироваться к новым условиям среды, что, в свою очередь, сказывается на их выживаемости.

При высокой скорости потребления АТФ, имеющей место в различных физиологических состояниях у рыб, в том числе в процессах интенсивного роста и развития, возрастает роль анаэробного метаболизма (анаэробного гликолиза) в поддержании необходимого уровня синтеза АТФ. Высокая максимальная скорость анаэробного метаболизма и независимость от кислорода обеспечивают способность животных быстро приспосабливаться к изменению окружающей среды и, в частности, совершать активную физическую работу. Как известно, молодь рыб характеризуется высоким уровнем физической активности [6], [7], [8], что необходимо для удержания особи в потоке воды, поиска и добычи пищи, защиты от хищников. Поэтому в период раннего онтогенеза большой вклад в энергообеспечение организма рыб, в частности скелетных мышц, вносит анаэробный гликолиз.

Многочисленные исследования, проведенные на различных видах рыб, показывают, что активные, быстрорастущие и хорошо адаптированные особи имеют более высокий энергетический статус, определяющийся более высокой активностью ферментов ключевых реакций синтеза АТФ. Активность ферментов аэробного метаболизма – цитохром *c* оксидазы (ЦО), цитратсинтазы (ЦС), малатдегидрогеназы (МДГ), ферментов гликолиза – лактатдегидрогеназы (ЛДГ) и пируваткиназы в белых мышцах положительно коррелирует с темпами роста рыб, что показано в исследованиях на различных видах: ювенильной атлантической треске *Gadus morhua*, молоди сайды *Pollachius virens*, окуне *Perca flavescens* и пятнистой зубатке *Anarhichas minor*. Установлена также положительная корреляция активности ЛДГ в белых мышцах с уровнем экспрессии генов сократительных мышечных белков. Подтверждением этому являются данные, полученные на микиже *Parasalmo mykiss* [12] и сигах *Coregonus lavaretus* [11], согласно которым активность ЛДГ коррелирует с уровнем экспрессии гена миозина – главного сократительного белка белых мышечных волокон. Активность ферментов гликолиза в мышцах повышается с увеличением массы тела особей, что показано для многих видов рыб, в том числе для радужной форели. Взаимосвязь активности ферментов гликолиза в белых мышцах с массой тела связана с локомоторной функцией мышц, усиление которой сопровождается активным синтезом сократительных белков и приростом мышечной массы.

## ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА ЛОСОСЕВЫХ РЫБ

Сравнительные исследования активности ферментов у быстрорастущих и медленно растущих лососевых рыб доказывают наличие взаимосвязи уровня энергетического обмена с темпами роста рыб и особенностями кормовых условий [8], [20]. Сравнение активности ферментов энергетического обмена у двух групп лососей *Salmo salar* одной генерации, расселившихся после вылупления в различные биотопы реки, отличающиеся гидрологическими и кормовыми условиями, показало, что сеголетки лосося из притока реки отличались высокой физической активностью, выживаемостью и большими размерами по сравнению с особями, оставшимися в русле реки. Их метаболизм характеризовался более высокой активностью ферментов ЦО, МДГ, ЛДГ. Высокая активность ферментов аэробного и анаэробного синтеза АТФ у сеголеток лосося, обитающих в притоке, обусловлена необходимостью окисления большего количества поступающих питательных веществ и образованием значительного количества АТФ, который расходуется на поддержание высокой физической активности и восстановительные реакции пластического обмена – образование структурных и запасных веществ для роста и развития молоди лосося. Аналогичные данные были получены для озерной форели *Salvelinus namaycush*. При сравнении особей этого вида рыб из двух озер, отличающихся по своей кормовой базе, было обнаружено, что у быстрорастущей молоди активность ферментов аэробного обмена ЦС и ЦО была значительно выше, чем у медленно растущих рыб. В исследовании на заводской молоди лосося *Salmo salar* [20] показаны различия в активностях ЛДГ и ЦО у особей одного поколения, различавшихся между собой по интенсивности питания. Та группа особей, которая начала питаться раньше и питалась больше, преуспевала в росте и была крупнее по размерам. Уровень активности ЦО и ЛДГ в мышцах особей из этой группы лососей был значительно выше, чем у более мелких особей.

Возраст, стадия развития и пол оказывают существенное влияние на энергетический и пластический обмен рыб [10]. Энергетический обмен на разных этапах индивидуального развития имеет свои особенности, связанные с возрастным изменением различных физиологических параметров организма в процессе жизнедеятельности. Прежде всего, в разные периоды онтогенеза меняется скорость потребления и аккумуляции энергии [7]. Результаты исследования лосося *Salmo salar* и искусственно выращиваемой микижи *Para-*

*salmo mykiss* показывают, что рыбы имеют наиболее высокую активность ЦО и уровень аэробного синтеза АТФ именно в период раннего онтогенеза [5]. В ходе развития рыб с увеличением их возраста и массы отмечается тенденция снижения уровня аэробного обмена и увеличения степени анаэробного обмена, что связано с возрастным уменьшением потребления кислорода, уменьшением двигательной активности особей, возрастанием анаболической составляющей метаболизма, увеличением синтеза и накопления запасных веществ. Исследование механизмов и закономерностей регуляции процессов энергетического и пластического обмена рыб при формировании вариаций в размерах и темпах роста молоди лососевых рыб указывает на то, что изменение активности ферментов по мере увеличения массы тела или возраста рыб может регулироваться на различных уровнях – транскрипционном и посттранскрипционном. При изучении соотношения активности фермента цитохромоксидазы и уровня экспрессии гена ее субъединицы 4 (*Cox4*) в белых мышцах с размерами особей микижи установлено, что корреляция уровня экспрессии гена *Cox4* в белых мышцах с размерами особей и активностью фермента была характерна только для двухлеток микижи (1+). У трехлеток (2+) коррелировали только активность ЦО с размерами рыб и отсутствовала корреляция с уровнем экспрессии гена [12]. Возможно, у двухлеток микижи регуляция активности фермента осуществляется преимущественно на уровне транскрипции, а у трехлеток – на посттранскрипционном уровне. С возрастом у микижи в целом снижалась и активность, и уровень экспрессии мРНК *Cox4*. На примере кумжи *Salmo trutta* L. [4] показано, что холодовая акклимация рыб сопровождается увеличением активности фермента и уровня экспрессии субъединицы 4, которая необходима для сборки фермента, имеет сайт связывания с АТФ и является аллостерическим центром регуляции его активности, а также субъединицы 6 (*Cox6-B1*), которая участвует в процессе окончательной сборки димеров молекулы фермента.

## НЕКОТОРЫЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТАБОЛИЗМА В ПРОЦЕССАХ РОСТА И РАЗВИТИЯ РЫБ

При изучении особенностей процесса роста рыб исследование молекулярно-генетических показателей энергетического метаболизма проводится главным образом в белых мышцах рыб, так как они вносят наибольший вклад в синтез и запасание белка растущей рыбы, составляют значительную часть тела (около 60 % веса) и, та-

ким образом, во многом определяют особенности метаболизма всего организма и отражают темпы роста рыб [15]. Индекс РНК/ДНК в мышцах используется как показатель темпов роста рыб: он показывает, как меняется уровень клеточной РНК и, соответственно, синтез белка при постоянной концентрации ДНК в клетке. Установлено, что индекс РНК/ДНК в мышцах положительно коррелирует с темпами роста лососевых рыб [22]. Миозин является одним из основных белков в мышце и составляет 25 % от общего содержания белка всего организма и 50 % от количества всех мышечных белков. Уровень экспрессии гена тяжелой цепи миозина (*MyHC*) коррелирует с темпами роста рыб и отражает скорость прироста их мышечной массы, что продемонстрировано для радужной форели *Oncorhynchus mykiss*, атлантического лосося *Salmo salar* и некоторых других видов рыб [14], [21]. При изучении искусственно выращиваемой микижи *Parasalmo mykiss* [12] установлена достоверная корреляция длины и массы рыб с активностью ферментов ЦО и ЛДГ белых мышц и уровнем экспрессии гена тяжелой цепи миозина. При этом уровень экспрессии гена миозина и активность ЛДГ, а также значение коэффициента их корреляции с размерами и между собой были выше у микижи возраста 2+ по сравнению с особями возраста 1+. Это, видимо, связано с тем, что у трехлеток (2+) прирост скелетной мускулатуры и массонакопление происходят более интенсивно, чем у двухлеток (1+), при этом у самцов уровень синтеза мышечного белка в том и другом возрасте значительно выше, чем у самок.

Для понимания механизмов роста и развития лососевых рыб, а также особенностей формирования их мышечной массы исследуется экспрессия генов факторов регуляции миогенеза. Главная роль в регуляции миогенеза принадлежит специфическим миогенным регуляторным факторам (MRF) – транскрипционным факторам семейства bHLH (basic helix-loop-helix) [18]. К ним относятся *MyoD*, *Myf5*, миогенин и *MRF4*. *MyoD* и *Myf5* вовлечены в процесс детерминации мышечных клеток, а миогенин и *MRF4* – их дифференцировку. Гены *MyoD* и *Myf5* экспрессируются, как правило, в пролиферирующих миобластах, тогда как экспрессия генов миогенина и *MRF4* наблюдается в постмитотических мышечных клетках. *MyoD* и *Myf5* в пролиферирующих миобластах активируют гены миогенина, а миогенин и *MRF4* необходимы для активации и поддержания экспрессии генов структурных и сократительных белков. Другая группа генов, играющих важную роль в регуляции миогенеза, это транскрипцион-

ные факторы MEF2 семейства (myocyte enhancer factor 2): *Mef2A* и *Mef2C*. Эти факторы наряду с MRF участвуют в контроле дифференцировки мышечных клеток. Они взаимодействуют с белками MRF, формируя комплексы для контроля транскрипции генов структурных белков мышц (миозин, тропонин, десмин) и самих белков MRF. Важным регулятором миогенеза является миостатин, принадлежащий семейству трансформирующих рост факторов (TGF- $\beta$ ). Это антагонист мышечного роста, ингибирует как пролиферацию, так и дифференцировку мышечных клеток [18].

Постэмбриональный мышечный рост рыб осуществляется либо гиперплазией (увеличением числа мышечных волокон), либо гипертрофией (увеличением в размере волокон). Согласно исследованиям, проведенным на лососевых рыбах, эти два процесса можно оценить по уровню экспрессии генов факторов регуляции миогенеза [16]: маркером гиперплазии может быть экспрессия генов *MyoD* и *Myf5*, а гипертрофии – экспрессия миогенина, *MEF2A* и *MEF2C*. Так, особенности роста и развития мышечной массы, вклад процессов гипертрофии и гиперплазии в течение развития радужной форели были описаны при помощи исследования уровня экспрессии генов *MyoD*, *Myf5*, *MEF2A*, *MEF2C*, миостатина [16].

Исследования особенностей формирования мышечной ткани лосося на ранних стадиях онтогенеза показали, что на уровень экспрессии регуляторных факторов миогенеза (что, в свою очередь, определяет особенности развития мышечной ткани) влияют разные факторы окружающей среды, главным образом температура [19]. Согласно исследованиям на искусственно выращиваемых лососевых рыбах, вышеперечисленные факторы регуляции миогенеза являются достаточно чувствительными к изменению условий выращивания, главным образом режима питания и состава корма [17], [21].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных и собственных данных показывает, что у активных, быстрорастущих, крупных и хорошо адаптированных особей лососевых рыб уровень активности ферментов аэробного метаболизма (цитохромоксидазы, цитратсинтазы, малатдегидрогеназы) и ферментов гликолиза (альдолазы и лактатдегидрогеназы) значительно выше, чем у медленно растущих особей. Это объясняется тем, что активный рост и развитие молоди рыб сопровождается усилением синтеза структурных и запасных веществ, увеличением содержания сократительных белков в мышцах, высокой локомоторной активностью

и приростом мышечной массы, а это, в свою очередь, требует высоких энергетических затрат. На энергетический статус и характер взаимосвязи активности ферментов энергетического и углеводного обмена с размерами или темпами роста рыб оказывает влияние их возраст, пол, условия питания и окружающей среды. Изучение механизмов и закономерностей регуляции процессов энергетического и пластического обмена в процессе роста и развития молоди рыб указывает на то, что изменение активности ферментов регулируется на различных уровнях, в том числе за счет изменения уровня экспрессии соответствующих генов.

Таким образом, активность ферментов аэробного и анаэробного обмена наряду с другими биохимическими и молекулярно-генетическими показателями (РНК/ДНК, уровень экспрессии генов ферментов и сократительных белков и регуляторов миогенеза) можно использовать (наряду

с показателями других путей биохимического метаболизма) в изучении механизмов раннего развития лососевых рыб, оценке их темпов роста и физиологического состояния на разных стадиях жизненного цикла. Следует заметить, что особое значение имеют исследования биохимического (в том числе энергетического) статуса лососевых рыб, обитающих в природных водоемах, где организмы испытывают воздействие целого ряда факторов. Анализ литературы показывает, что такие сведения немногочисленны, основные исследования связаны с изучением лососевых рыб как объекта аквакультуры. Все лососи для нормальной жизнедеятельности требуют чистой, обогащенной кислородом воды, и поэтому их часто рассматривают в качестве важнейших индикаторов экосистем. Такого рода исследования требуют использования комплекса различных методов биохимии, молекулярной биологии, физиологии, ихтиологии, гидробиологии.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 14-24-00102.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлантический лосось / Ред. Р. В. Казаков. СПб.: Наука, 1998. 565 с.
2. Веселов А. Е., Калужин С. М. Экология, поведение и распределение молоди атлантического лосося. Петрозаводск: Карелия, 2001. 160 с.
3. Мещерякова О. В., Груздев А. И., Немова Н. Н. Сравнительная энзиматическая оценка углеводного обмена окуней *Perca fluviatilis* L. из водоемов с различным уровнем содержания гуминовых кислот // Известия РАН. Серия биологическая. 2004. № 1. С. 21–26.
4. Мещерякова О. В., Чурова М. В., Веселов А. Е., Немова Н. Н. Активность COX, изоферментов mtLDH и уровень экспрессии генов субъединиц *Cox1*, *Cox2*, *Cox4* и *Cox6* при холодовой адаптации кумжи *Salmo trutta* L. // Биоорганическая химия. 2015. № 6 (в печати).
5. Мещерякова О. В., Чурова М. В., Немова Н. Н. Межвидовые, возрастные и половые различия в активности цитохром с оксидазы белых мышц рыб из водоемов Северо-Запада России // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 3. С. 136–142.
6. Новиков Г. Г. Рост и энергетика развития костистых рыб в раннем онтогенезе. М.: Эдиториал УРСС, 2000. 296 с.
7. Озернюк Н. Д. Биоэнергетика онтогенеза. М.: Изд-во МГУ, 2000. 259 с.
8. Павлов Д. С., Мещерякова О. В., Веселов А. Е., Немова Н. Н., Лупандин А. И. Показатели энергетического обмена у молоди атлантического лосося (*Salmo salar* L.), обитающей в главном русле и притоке реки Варзуга (Кольский полуостров) // Вопросы ихтиологии. 2007. Т. 47. С. 819–826.
9. Павлов Д. С., Пономарева В. Ю., Веселов А. Е., Костин В. В. Реореакция как один из механизмов формирования фенотипических группировок сеголеток атлантического лосося (*Salmo salar*) // Вопросы ихтиологии. 2010. Т. 50. № 4. С. 548–553.
10. Шатуновский М. И. Эколого-физиологические подходы к периодизации онтогенеза рыб // Экологические проблемы онтогенеза рыб: физиолого-биохимические аспекты. М.: Изд-во МГУ, 2001. С. 13–19.
11. Чурова М. В., Мещерякова О. В., Немова Н. Н. Взаимосвязь активности ферментов энергетического обмена с темпами роста и размерами рыб // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 4 (117). С. 31–37.
12. Чурова М. В., Мещерякова О. В., Немова Н. Н., Шатуновский М. И. Соотношение роста и некоторых биохимических показателей рыб на примере микижи *Parasalmo mykiss* Walb. // Известия РАН. Сер. Биол. 2010. № 3. С. 289–299.
13. Guderley H. Metabolic responses to low temperature in fish muscle // Biol. Rev. Camb. Philos. Soc. 2004. Vol. 79. P. 409–427.
14. Nevroy E. M., Jordal A.-E. O., Hordvik I., Espe M., Hemre G.-I., Olsvik P. A. Myosin heavy chain mRNA expression correlates higher with muscle protein accretion than growth in Atlantic salmon, *Salmo salar* // Aquaculture. 2006. Vol. 252. P. 453–461.
15. Houlihan D. F., Mathers E. M., Foster A. Biochemical correlates of growth rate in fish // Fish Ecophysiology / J. C. Rankin, F. B. Jensen. London UK, 1993. Chapter 2. P. 45–71.
16. Johansen K. A., Overturf K. Quantitative expression analysis of genes affecting muscle growth during development of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Mar Biotechnol (NY). 2005. Vol. 7. P. 576–587.

17. Johnsen C. A., Hagen Ø., Solberg C., Björnsson B. T. H., Jönsson E., Johansen S. J. S., Bendiksen E. Å. Seasonal changes in muscle structure and flesh quality of 0+ and 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): impact of feeding regime and possible roles of ghrelin // *Aquaculture Nutrition*. 2013. Vol. 19. № 1. P. 15–34.
18. Johnston I. A., Macqueen D. J., Watabe S. Molecular biotechnology of development and growth in fish muscle // *Fisheries for Global Welfare and environment: 5<sup>th</sup> World fisheries congress*. 2008. P. 241–262.
19. Macqueen D. J., Robb D., Johnston I. A. Temperature influences the coordinated expression of myogenic regulatory factors during embryonic myogenesis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) // *Journal of Experimental Biology*. 2009. Vol. 210. № 16. C. 2781–2794.
20. Nathanaelides C., Stickland N. C. Activity of cytochrome c oxidase and lactate dehydrogenase in muscle tissue of slow growing (lower modal group) and fast growing (upper modal group) Atlantic salmon // *Journal of Fish Biology*. 1996. Vol. 48. P. 549–551.
21. Overturf K., Hardy R. Myosin expression levels in trout muscle: a new method of monitoring specific growth rates for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) on varied planes of nutrition // *Aquat. Res.* 2001. Vol. 32. P. 315–322.
22. Peragon J., Barroso J. B., Garcia-Salguero L., Higuera M., Lupianez J. A. Growth, protein-turnover rates and nucleic-acid concentrations in the white muscle of rainbow trout during development // *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 2001. Vol. 33. P. 1227–1238.
23. *Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economic importance*. Patrick T. K. Woo, Donald J. Noakes (Eds.). NY: NovaSciencePublishers, 2014.

Nemova N. N., Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)  
 Meshcheryakova O. V., Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)  
 Churova M. V., Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

### ENERGY METABOLISM INDICATORS FOR *SALMONIDAE* GROWTH AND DEVELOPMENT ASSESSMENT

The review is concerned with the results of the research study on the role of energy metabolism in the growth and development of fish, mainly *Salmonidae*. The study of energy metabolism regulation during early development is of particular importance for fish inhabiting natural waters, where organisms are exposed to a variety of factors. The conducted analysis shows that such data are scarce, and basic research is related to the study of salmonids as subjects of aquaculture. The article considers the possibility of using some of the biochemical and molecular parameters of the energy status for the study of growth and development of *Salmonidae*.

Key words: salmon, development, energy metabolism, enzymes, molecular indicators

#### REFERENCES

1. *Atlanticheskii losos'* [Atlantic salmon] / Ed. R. V. Kazakov. St. Petersburg, Nauka Publ., 1998. 565 p.
2. Veselov A. E., Kalyuzhin S. M. *Ekologiya, povedenie i raspredelenie molodi atlanticheskogo lososya* [Ecology, behavior and distribution of juvenile Atlantic salmon]. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 2001. 160 p.
3. Meshcheryakova O. V., Gruzdev A. I., Nemova N. N. Comparative evaluation of carbohydrate metabolism in perch (*Perca fluviatilis* L.) from water bodies with different contents of humic acids. *Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2004. Vol. 31. № 1. P. 15–20.
4. Meshcheryakova O. V., Churova M. V., Veselov A. E., Nemova N. N. Activity of cytochrome c oxidase (COX) and mitochondrial lactate dehydrogenase isoenzymes (mtLDH), subunits *Cox1*, *Cox2*, *Cox4*, *Cox6* gene expression in brown-trout *Salmo trutta* L. at the cold adaptation. *Bioorganic chemistry*. 2016. № 2 (in press).
5. Meshcheryakova O. V., Churova M. V., Nemova N. N. Species-, aging- and sex-related differences in cytochrome c-oxidase activity in white muscles of some fish in Northwest Russia [Mezhvidovye, vozrastnye i polovye razlichiya v aktivnosti tsytokhrom c oksidazy belykh myshts ryb iz vodoemov Severo-Zapada Rossii]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Transactions of Karelian Research Centre of RAS]. 2013. № 3. P. 136–142.
6. Novikov G. G. *Rost i energetika razvitiya kostistykh ryb v rannem ontogeneze* [Growth and energy development of bony fishes in the early ontogenesis]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2000. 296 p.
7. Ozerlyuk N. D. *Bioenergetika ontogeneza* [Bioenergy ontogeny]. Moscow, MGU Publ., 2000. 259 p.
8. Pavlov D. S., Meshcheryakova O. V., Veselov A. E., Nemova N. N., Lupandin A. I. Parameters of energy metabolism in juveniles of Atlantic salmon *Salmo salar* living in the mainstream and in the tributary of the Varzuga River (the Kola Peninsula). *Journal of Ichthyology*. 2007. Vol. 47. № 9. P. 774–781.
9. Pavlov D. S., Ponomareva V. Yu., Veselov A. E., Kostin V. V. Rheoreaction as a mechanism of formation of phenotypic groups of underyearlings of the Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Ichthyology*. 2010. Vol. 50. № 6. P. 483–488.
10. Shatunovskiy M. I. Environmental and physiological approaches to periodization of the ontogeny of fish [Ekologo-fiziologicheskie podkhody k periodizatsii ontogeneza ryb]. *Ekologicheskie problemy ontogeneza ryb: fiziologo-biokhimicheskie aspekty* [Fish ontogenesis Environmental issues: the physiological and biochemical aspects]. Moscow, MGU Publ., 2001. P. 13–19.
11. Churova M. V., Meshcheryakova O. V., Nemova N. N. The relationship of energy metabolism enzyme with the growth and size of fish [Vzaimosvyaz' aktivnosti fermentov energeticheskogo obmena s tempami rosta i razmerami ryb]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2011. № 4 (117). P. 31–37.

12. Churova M. V., Meshcheryakova O. V., Nemova N. N., Shatunovskiy M. I. The correlation between fish growth and several biochemical characteristics with reference to the steelhead *Parasalmo mykiss* Walb. *Biology bulletin*. 2010. Vol. 37. № 3. P. 236–245.
13. Guderley H. Metabolic responses to low temperature in fish muscle // *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 2004. Vol. 79. P. 409–427.
14. Hevroy E. M., Jordal A.-E. O., Hordvik I., Espe M., Hemre G.-I., Olsvik P. A. Myosin heavy chain mRNA expression correlates higher with muscle protein accretion than growth in Atlantic salmon, *Salmo salar* // *Aquaculture*. 2006. Vol. 252. P. 453–461.
15. Houlihan D. F., Mathers E. M., Foster A. Biochemical correlates of growth rate in fish // *Fish Ecophysiology* / J. C. Rankin, F. B. Jensen. London UK, 1993. Chapter 2. P. 45–71.
16. Johansen K. A., Overturf K. Quantitative expression analysis of genes affecting muscle growth during development of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // *Mar Biotechnol* (NY). 2005. Vol. 7. P. 576–587.
17. Johnsen C. A., Hagen Ø., Solberg C., Björnsson B. T. H., Jónsson E., Johansen S. J. S., Bendiksen E. Å. Seasonal changes in muscle structure and flesh quality of 0+ and 1+ Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): impact of feeding regime and possible roles of ghrelin // *Aquaculture Nutrition*. 2013. Vol. 19. № 1. P. 15–34.
18. Johnston I. A., Macqueen D. J., Watabe S. Molecular biotechnology of development and growth in fish muscle // *Fisheries for Global Welfare and environment: 5<sup>th</sup> World fisheries congress*. 2008. P. 241–262.
19. Macqueen D. J., Robb D., Johnston I. A. Temperature influences the coordinated expression of myogenic regulatory factors during embryonic myogenesis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) // *Journal of Experimental Biology*. 2009. Vol. 210. № 16. C. 2781–2794.
20. Nathanailides C., Stickland N. C. Activity of cytochrome c oxidase and lactate dehydrogenase in muscle tissue of slow growing (lower modal group) and fast growing (upper modal group) Atlantic salmon // *Journal of Fish Biology*. 1996. Vol. 48. P. 549–551.
21. Overturf K., Hardy R. Myosin expression levels in trout muscle: a new method of monitoring specific growth rates for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) on varied planes of nutrition // *Aquat. Res.* 2001. Vol. 32. P. 315–322.
22. Peragon J., Barroso J. B., Garcia-Salguero L., Higuera M., Lupianez J. A. Growth, protein-turnover rates and nucleic-acid concentrations in the white muscle of rainbow trout during development // *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 2001. Vol. 33. P. 1227–1238.
23. *Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economic importance* / Patrick T. K. Woo, Donald J. Noakes (Eds.). NY: NovaSciencePublishers, 2014.

Поступила в редакцию 07.08.2015

**ЭРНЕСТ ВИКТОРОВИЧ ИВАНТЕР**

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой зоологии и экологии, декан эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*ivanter@petrsu.ru*

**ЮРИЙ ПАВЛОВИЧ КУРХИНЕН**

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

*kurhinen@petrsu.ru*

**ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОЙ ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИИ НА НАСЕЛЕНИЕ  
МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ\***

В итоге многолетних (1958–2015 годы) исследований, охвативших всю территорию Восточной Фенноскандии, выявлены существенные изменения структуры и численности населения мелких млекопитающих под влиянием интенсивной лесозаготовки. Анализируются общие закономерности воздействия рубок на структуру местообитаний, численность, территориальное распределение и экологические особенности 11 видов мелких млекопитающих региона. Установлено, что общие для большинства видов реакции на концентрированные рубки сводятся к снижению общей численности популяций, переходу на неритмичную, с резкими непродолжительными подъемами и глубокими длительными депрессиями, популяционную динамику и образованию нестойкого мозаичного пространственного размещения, а также к нарушению темпов и снижению интенсивности репродукции.

Ключевые слова: популяция, динамика численности, трансформация среды, биотоп, лесовосстановление, организация и плотность населения

Изучение экологических последствий массовых рубок леса, приводящих к сведению на больших площадях коренных таежных древостоев, их фрагментации и формированию мозаичного ландшафта, продолжает вызывать у исследователей большой интерес. По отношению к таежной фауне Голарктики эта проблема несколько лучше разработана на более удобных (в методическом плане) объектах – беспозвоночных. Активно ею занимались и на североамериканском континенте, причем не только на птицах, но и на некоторых млекопитающих. В Европе териологические исследования в этой области чаще публикуются в виде кратких обзоров и, как правило, либо вообще не касаются таежной зоны, либо связаны исключительно с экзотическими группами, например летучими мышами. Работ, относящихся к таежной Скандинавии, немного, причем они носят в основном обзорный характер и не опираются на конкретный экспериментальный материал [15]. Что же касается отечественных публикаций, посвященных этой проблеме [1], [2], [4], [6], [7], [9], [10], [12], то большинство из них относятся ко второй половине XX века и страдают теми же недостатками, что и многие перечисленные выше работы зарубежных коллег, и прежде всего излишней конкретикой, кратковременностью на-

блюдений и преобладанием констатации в ущерб анализу и объяснению причин.

Цель настоящего сообщения – восполнить этот пробел результатами многолетних исследований (1958–2015 годы), выполненных в Восточной Фенноскандии (Кольский п-ов, Карелия, Финляндия и Карельский перешеек Ленинградской области) и сочетавших работу на полевых стационарах (Гомсельгский, Ладожский, заповедник «Кивач») с широкими экспедиционными обследованиями.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Основным объектом исследований послужила весьма важная в биоценологическом плане группа мелких млекопитающих – землеройки-бурозубки и лесные мышевидные грызуны (рыжие и серые полевки, лесные лемминги, мышовки и др.). Эти животные, занимая особое место в структуре трофических связей таежных экосистем и являясь основными потребителями растительности и беспозвоночных нижнего яруса леса, служат одновременно важнейшим объектом потребления многих хищников. В составе этой группы есть и стенобионтные таежные виды, чутко реагирующие на трансформацию коренных лесов, и эврибионтные виды-убииквисты, менее чувствитель-

ные к рубкам и распространенные практически по всем таежным регионам и местообитаниям. Это делает их удобным и достаточно чувствительным экологическим индикатором состояния таежных экосистем [5].

Учеты численности зверьков заключались в расстановке параллельных, на расстоянии 25 м друг от друга, линий давилок (капканчиков Геро) по 25–50 шт. в каждой. Они равномерно распределялись по всем обследуемым биотопам (и модельным участкам) и действовали по 2–4 суток. Приманкой служили кусочки смоченного в растительном масле ржаного хлеба. За показатель обилия принимали число зверьков, попавших за сутки работы в 100 ловушек (на 100 ловушко-суток), и выраженную в процентах долю данного вида в общем улове ловушками (относительное обилие в населении мелких млекопитающих, или индекс доминирования). Учет и отлов канавками проводился с помощью 30-метровых траншей, имевших по три металлических конуса, сужающихся к горловине и врытых таким образом, что верхний край их находился вровень с дном канавки. Показатель обилия – число зверьков, попавших в конусы за 10 суток работы одной канавки (на 10 канавко-суток), и относительное количество зверьков данного вида, выраженное в процентах от общего числа добытых (индекс доминирования, %). Общий объем проведенных учетов превышает 455 000 ловушко-суток и 7800 канавко-суток.

В одном из наиболее исследованных в экологическом отношении Кондопожском районе Карелии, в пределах ландшафта одного типа (сельговый среднезаболоченный с преобладанием сосновых лесов) было выделено 4 категории коренных сосновых лесов в соответствии со сте-

пенью их фрагментации: крупные массивы сосняков (Гомсельгский стационар, массив 25–30 га), на той же территории небольшие (6–7 га) участки и совсем мелкие (по 1–2 га) островки соснового леса. Для сравнения использовались данные учетов млекопитающих, полученные в крупных массивах сосняков заповедника «Кивач» (общей площадью около 3 тыс. га). На всех этих участках работы велись одновременно, в равных объемах и по единой методике, а сравниваемые территории разделяли всего 20 км. При этом все фрагменты сосняков обладают здесь близкими характеристиками рельефа, почв, исходного типа растительности и окружены сходными по структуре экосистемами (производные лиственные и смешанные насаждения). Это позволило осуществить сравнительный анализ данных за большой временной ряд (более 30 лет) синхронных наблюдений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ изменений видовой структуры и разнообразия биоценотических группировок мелких млекопитающих показал, что с сокращением размеров фрагментов хвойных лесов сокращается и количество видов, зафиксированных в среднем за год наблюдений (фактически это индекс видового богатства), причем наиболее резкий переход (в 2 раза) наблюдался от крупных к небольшим (6–7 га) массивам (рис. 1).

Тренды динамики численности мелких млекопитающих в сосняках различной степени фрагментированности в целом имеют сходную направленность. При этом следует отметить два аспекта. Во-первых, размах колебаний (особенно максимумы) даже в слабо фрагментированных сосняках (20–30 га) оказался несколько шире,

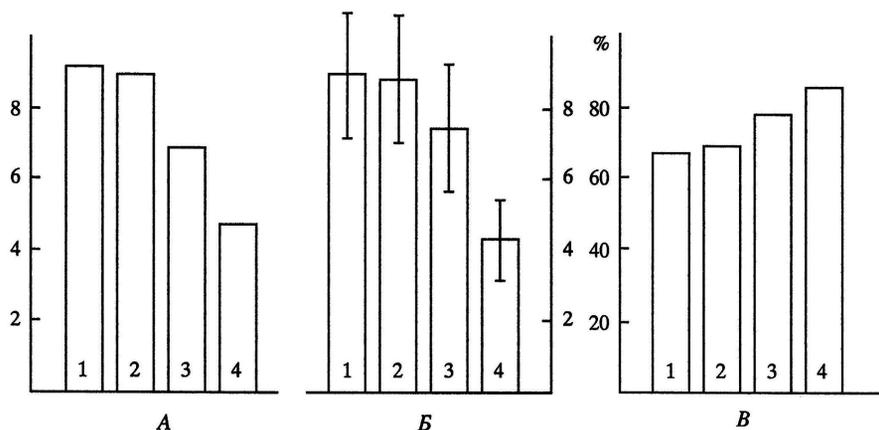


Рис. 1. Численность мелких млекопитающих и ее динамика в сосняках разной степени фрагментации:

А – суммарная, Б – среднестатистическая численность, В – коэффициент вариации, %.

1 – заповедные территории, 2 – крупные массивы 30 га и более, 3 – небольшие массивы 6–7 га, 4 – мелкие выделы до 2 га.

По оси абсцисс – число видов, по оси ординат – индекс Паркера – Бергера

чем на заповедной территории; во-вторых, закономерность, согласно которой дальнейшая фрагментация сосняков (до 6–7 га и особенно до 1–2 га) резко усиливает отклонения в характере количественной динамики популяций мелких млекопитающих от общих тенденций, характерных для крупных лесных массивов. Это проявляется прежде всего в ином чередовании пиков обилия и в размахе колебаний.

Особенно четкие различия наблюдаются при анализе численности двух фоновых видов (обыкновенной бурозубки и рыжей полевки), которые вместе составляют более 90 % суммарного отлова. С сокращением размеров лесных фрагментов показатель обилия обыкновенной бурозубки сокращается, а коэффициент вариации растет.

Наблюдаются различия и в динамике численности. В крупных таежных массивах заповедника волны популяционной динамики обыкновенной бурозубки имеют более сглаженный характер и спады численности выражены слабее, чем в небольших по площади сосняках. В мелких лесных массивах периоды депрессии численности видов выражены более резко и нередко принимают многолетний характер.

Сходные тенденции в общих чертах отмечены и для других видов, в частности рыжей полевки, однако уровень численности этого зверька в больших массивах опытного участка оказался несколько выше, а коэффициент вариации и размах колебаний в смежные годы – ниже, чем даже в сосняках заповедника. Это можно объяснить соседством и влиянием в целом благоприятных для вида резервных местообитаний типа молодняков и опушечных лент, характерных для мозаичного ландшафта опытного участка. На популяцию рыжей полевки это, по-видимому, оказывает стабилизирующее влияние. Дальнейшая фрагментация сосняков приводит к сокращению показателя обилия рыжей полевки, причем особенно сильно (в 2 раза) в семенных куртинах сосны площадью 1–2 га.

В сосняках разной степени фрагментарности зафиксировано неполное совпадение волн динамики численности рыжей полевки. В основном это касается пиков, но в некоторых случаях – и периодов депрессии численности. Таким образом, фрагментация сосняков в целом приводит к обеднению видового состава, сокращению численности видов, усилению нестабильности населения и упрощению структуры сообществ мелких млекопитающих. Максимальная степень фрагментации (сокращение площадей до 1–2 га) приводит к формированию довольно нестабильных и упрощенных сообществ с 1–2 абсолютно доминирующими видами. Характерно, что при

сохранении собственной структуры даже мелких массивов сосняков (ярусность, сомкнутый полог, специфичный живой напочвенный покров) широкого заселения семенных куртин сосны зверьками с окружающих территорий молодняков не наблюдалось. В итоге острова сосняков существенно отличались по составу населения и численности мелких млекопитающих от смежных территорий.

Землеройки сильнее реагируют на фрагментацию сосняков: с сокращением площади спелых древостоев сокращается и число видов бурозубок, и их общая численность. В конечном счете на небольшом лесном фрагменте остается всего один вид (обыкновенная бурозубка), заселяющий его с минимальной плотностью. В этой ситуации подселения новых видов землероек с прилегающих территорий, как правило, не отмечается.

Доминирующая повсеместно рыжая полевка несколько легче переносит дробление массивов спелых сосняков, хотя изменения все же значительны. Характерно, что, как и в случае с землеройками, заселения небольших по площади участков сосняков другими видами полевок (темная, экономка) не наблюдалось, хотя они и присутствовали на прилегающих территориях производных лесов. Лишь однажды в небольшом массиве сосняка чернично-долгомощного площадью всего 2 га нам удалось обнаружить изолированное поселение лесного лемминга – вида, известного своим тяготением к крупным массивам коренных хвойных лесов Фенноскандии [3], [11]. Зверьки попадались в ловчие канавки регулярно, но не ежегодно – обычно лишь в периоды пиков численности.

В процессе дальнейшей антропогенной трансформации таежных лесов, через некоторое время после начала их фрагментации, формируется ландшафт, представляющий собой мозаику лесных биотопов, находящихся на разных этапах вторичной сукцессии после сплошных рубок. В этой связи большой интерес представляет изучение экологических последствий для животных формирования именно такого мозаичного ландшафта.

Как показали учеты мелких млекопитающих, их результаты с достаточной точностью отражают совпадение волн динамики численности в опыте и контроле: годы пиков и депрессий почти синхронны, одинакова и средняя амплитуда колебаний обилия зверьков в смежные годы. В то же время средний показатель численности (табл. 1), как и крайние его значения в трансформированном рубками ландшафте, оказался в годы пиков в 1,3–1,5 раза выше, чем на заповедной тер-

ритории. Если же обратиться к сравнению этих показателей отдельно для групп землероек и мышевидных грызунов, то различия между опытом и контролем оказались еще более значительными. Количество видов землероек, фиксируемых при учетах на ловушко-линиях в среднем за год, было в заповеднике в 1,5 раза выше, чем в опыте, средняя же амплитуда колебаний численности землероек и коэффициент вариации показателя учета, наоборот, ниже (соответственно в 2 и 1,3 раза). Это косвенно указывает на то, что экологические условия в крупных таежных массивах для землероек более благоприятны.

Еще значительнее различия между контролем и опытом для мышевидных грызунов. Количество видов этой группы млекопитающих, фиксируемых в среднем за год учетов давилками, оказалось значительно (в 1,6 раза) и достоверно ( $p < 0,05$ ) выше, чем в заповеднике, в основном за счет регулярного присутствия в уловах зеленоядных видов серых полевок рода *Microtus* (темная, экономка). Причем особенно характерно это для ранних этапов вторичной сукцессии лесной экосистемы.

Динамика численности мышевидных грызунов (при общем совпадении волн) также различалась: в годы пиков, как и депрессий, численность в опыте была в 1,3–1,5 раза выше, чем в контроле (за исключением депрессии 1988 года, катастрофической для всех районов и видов мелких млекопитающих). Некоторый спад численности мышевидных грызунов в 1983–1985 годах в трансформированном ландшафте Гомсельгского стационара не носил столь ярко выраженного характера депрессии, как на заповедной территории.

Для сравнения видового состава мелких млекопитающих по районам нами рассчитывался индекс Паркера – Бергера, представляющий соотношение  $n_{max}/N$ , где  $n_{max}$  – оценка значимости доминирующего вида, а  $N$  – сумма оценок значимости. Фактически он характеризует степень доминирования наиболее многочисленного в

сообществе вида и одновременно степень неравновесности, несбалансированности самого сообщества, что как раз важно выяснить в данном случае. Несмотря на кажущуюся простоту этого показателя, некоторые исследователи относят индекс Паркера – Бергера к числу лучших для оценки специфики видового состава сообществ животных [19]. Значения этого индекса для группы мышевидных грызунов достоверно выше в контроле, что лишним раз подчеркивает некоторую упрощенность группировок мышевидных грызунов заповедной территории (абсолютное доминирование рыжей полевки составило 94 % от суммарного улова данной группы зверьков). В трансформированном рубками ландшафте доминирование этого вида выражено менее резко (в среднем 66 % от улова мышевидных грызунов), более того, в отдельные годы рыжая полевка даже уступала первенство одному из видов серых полевок.

Один из показателей видового разнообразия сообществ – индекс Симпсона, рассчитываемый по формуле:  $I = 1 - E(n_i/N)$ , где  $n_i$  – оценка значимости одного вида,  $N$  – сумма оценок значимости всех видов. Поскольку в данном случае этот индекс вычислялся только на основе относительных показателей (1 экз. на 100 ловушко-суток), он используется здесь лишь как способ грубого сравнения видового разнообразия биоценотических комплексов мелких млекопитающих экспериментальной и контрольной территорий.

Если брать всю группу мелких млекопитающих, то различия в показателях видового разнообразия между опытом и контролем незначительны (соответственно 0,55 и 0,46). При сравнении же отдельных групп видов (землеройки и мышевидные грызуны) различия вновь оказываются существенными: индекс видового разнообразия землероек в заповеднике примерно в 3 раза выше, чем в опыте (0,21 и 0,07), а для мышевидных грызунов, напротив, значения индекса Симпсона в трансформированном рубками ландшафте в 5,4 раза выше ( $p < 0,01$ ). Таким образом, трансфор-

Таблица 1

Численность мелких млекопитающих на экспериментальном (I) и контрольном (II) участках за 11 лет исследований, экз. на 100 ловушко-суток

Участок	Исследованная группа	Численность			Размах колебаний численности в смежные годы, $M \pm SE$
		суммарная	средняя, $M \pm SE$	CV, %	
I. Гомсельгский стационар	Мелкие млекопитающие из них:	9,1	9,5 ± 1,8	64	2,1 ± 0,2
	бурозубки	3,1	3,1 ± 0,8	88	3,6 ± 1,0
	мышевидные грызуны	6,0	6,4 ± 1,2	63	2,1 ± 0,4
II. Заповедник «Кивач»	Мелкие млекопитающие из них:	7,2	7,1 ± 1,2	55	2,1 ± 0,3
	бурозубки	2,9	2,7 ± 0,6	71	1,8 ± 0,2
	мышевидные грызуны	4,3	4,4 ± 0,9	68	3,2 ± 0,9

мация таежных лесов приводит к сокращению видового разнообразия землероек-бурозубок, но к росту видового разнообразия мышевидных грызунов.

Возвращаясь к анализу особенностей динамики численности (обилия) мелких млекопитающих на экспериментальной и контрольной территориях, следует отметить, что в обоих случаях основной фон создают доминирующие виды – обыкновенная бурозубка и рыжая полевка, составляющие в опыте соответственно 33 и 43 % от улова, в контроле соответственно 35 и 56 %. Волны флуктуации численности обыкновенной бурозубки в заповеднике имеют более сглаженный вид с менее выраженными пиками и депрессией численности по сравнению с опытом (рис. 2). Для рыжей полевки соотношение иное: при примерно равных показателях обилия зверьков, в опыте периоды депрессий и пиков выражены значительно слабее, чем в лесах заповедника, а депрессия 1983–1985 годов вообще отсутствовала.

Мозаичность территории опытного участка с наличием опушечных зон, недорубов, семенных куртин, вырубок и молодняков обеспечивает не только лучшую выживаемость полевок в годы депрессии, но и возможность выселения части популяции из оптимальных стадий во временные (в годы подъема численности зверьков), что сглаживает колебания. И все же основные отличия в структуре сообществ мелких млекопитающих и динамике их общей численности между опытом и контролем обусловлены, на наш взгляд, не только реакцией доминирующих видов (которые на обоих участках одни и те же – обыкновенная бурозубка и рыжая полевка), но и видов, занимающих по степени доминирования 3–6-е места. На заповедной территории это, прежде всего, темная полевка (3,1 %), а также равнозубая, малая и средняя бурозубки, соответственно 1,8, 1,6 и 1,5 %, в опыте – темная полевка и полевка-экономка (15,8 и 6,3 %). Численность этих видов и ее динамика по годам в опыте и контроле кардинально различаются. Так, обилие средней и малой бурозубок в контроле в 2–3 раза выше, а численность темной полевки и экономки, напротив, на трансформированной рубками территории в среднем в 6 и более раз выше.

Флуктуации численности этих видов в значительной степени влияют на состав группировок и динамику всего населения мелких млекопитающих. Например, если в заповедных лесах темная полевка регистрируется не ежегодно и ее доля в уловах лишь однажды превысила отметку 3 % (1987 год), то в трансформированном рубками ландшафте этот вид практически ежегодно

встречается в уловах мышевидных грызунов, а отдельные годы – уверенно доминировал (1981, 1982). Если полевка-экономка в опыте – обычный вид, предпочитающий вырубки, то в заповеднике она – редкий вид, встреченный в уловах давилками лишь в 1987 году (год, соответствовавший пику численности этого вида в опыте). Напротив, равнозубая бурозубка – вид, свойственный только лесам заповедника, на экспериментальной территории ни разу не регистрировалась.

Одним из наиболее надежных и точных критериев характеристики населения мелких млекопитающих может служить сезонная динамика их численности, которая также демонстрирует существенные различия между опытом и контро-

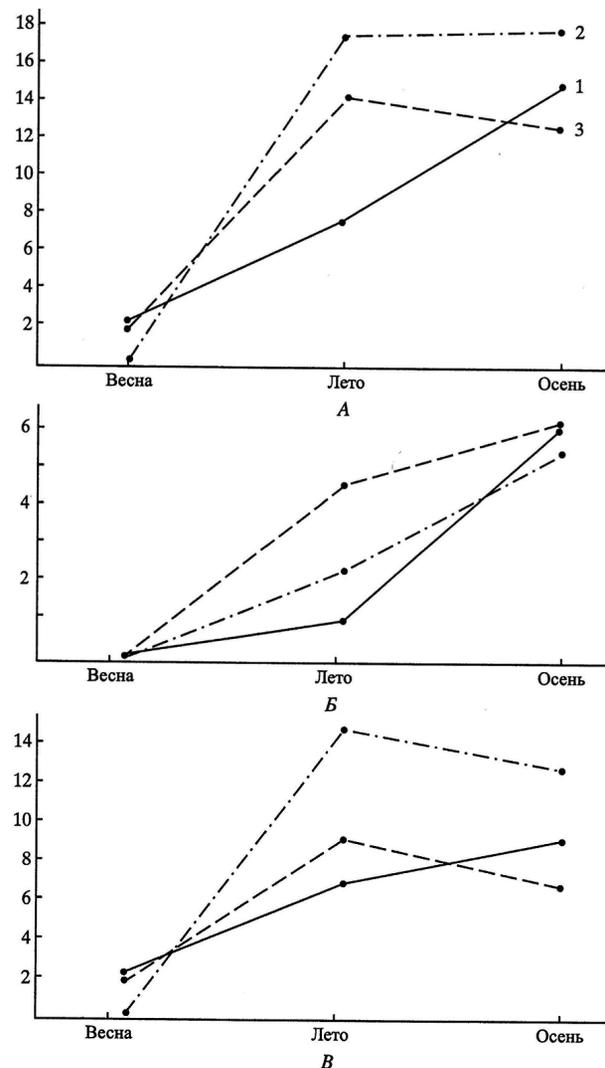


Рис. 2. Сезонная динамика численности мелких млекопитающих в смежных – коренных и трансформированных рубками биотопах.

А – все виды, Б – обыкновенная бурозубка, В – рыжая полевка. 1 – спелый сосняк черничный, 2 – вырубка (1–10 лет), 3 – сосново-лиственный молодняк (10–20 лет). По оси абсцисс – сезоны года, по оси ординат – численность, экз. на 100 ловушко-суток

лем (см. рис. 2), особенно для одного из фоновых видов – обыкновенной бурозубки. По данным учетов, численность этого вида в трансформированном рубками ландшафте наиболее быстро растет весной и в первой половине лета, в результате чего различия между опытом и контролем в июле достигают 10 и более кратных величин, к осени соотношение выравнивается. В таком же направлении, но слабее варьирует численность рыжей полевки. По нашему мнению, наблюдаемые различия в сезонной динамике обусловлены в среднем несколько более ранними сроками наступления весенних фенологических явлений (снеготаяние, вегетация травяной растительности) на территории преобладающих на опытном участке вырубках и молодняках, что соответственно стимулирует относительно более быстрый рост численности зверьков в начале лета [8].

Для характеристики происходящих после рубки изменений видовая структура и численность биоценологических группировок млекопитающих оценивались на сериях экосистем. Условно они обозначены как открытые (необлесившиеся) вырубки (давность рубки до 5–6 лет), молодняки 6–20 и 21–40 лет, вторичные лиственные и смешанные леса (преимущественно 50–70 лет), старовозрастные хвойные леса (контроль, свыше 100 лет). Как указывалось выше, при условии корректного подбора серий можно оценить те из-

менения, которые происходят с группировками животных в ходе вторичной сукцессии экосистем после рубки леса. При этом априори предполагается, что изменения в биоценологических группировках млекопитающих этих биотопов повторяют ожидаемые в ходе сукцессии экосистемы процессы в течение ближайших 100–120 лет.

На основе сводных для региона данных (20 пунктов стационарных и экспедиционных наблюдений) (табл. 2–4) можно дать общую характеристику биоценологических группировок млекопитающих основных сукцессионных стадий экосистем на вырубках. По этим данным можно заключить, что хотя спелые (старше 100 лет) сосняки зеленомошные (контроль) близки по уровню численности и видовому разнообразию мелких млекопитающих к средним значениям по всем биотопам, но значительно уступают по этим показателям вырубкам с давностью рубки от 1 до 10–15 лет, причем эти различия (достигающие 30-кратной величины) особенно четко проявляются в группе мышевидных грызунов, в первую очередь серых полевок. Уже на основе этих данных выявляются довольно явные признаки смены видов (сукцессии) мышевидных грызунов, сильнее всего заметной в первые 15–20 лет вторичной сукцессии экосистемы на вырубках.

За весь период сукцессии экосистемы минимальные показатели численности и видового раз-

Таблица 2

Численность (в числителе, экз. на 100 ловушко-суток) и доля в уловах (в знаменателе, %) фоновых видов мелких млекопитающих в коренных и трансформированных рубками биотопах средней тайги Восточной Фенноскандии

Биотопы	Число ловушко-суток	Общая численность	Численность по видам						
			обыкновенная бурозубка	средняя бурозубка	малая бурозубка	рыжая полевка	темная полевка	полевка-экономка	лесная мышовка
Спелые сосняки зеленомошные	7640	4,8	1,7/35,5	0,06/1,0	0,06/1,0	2,8/60,9	0,14/2,5	–	0,04/0,05
Спелые ельники зеленомошные	3795	4,6	1,6/34,5	0,08/1,2	0,08/1,2	2,8/62,0	0,02/0,8	–	–
Открытые вырубки:	7031	8,9	3,7/41,3	0,01/0,1	0,1/1,1	1,9/22,5	2,3/26,1	0,8/8,0	0,07/1,0
свежие (до 1 года)	725	1,0	0,4/37,7	–	–	0,5/50,5		0,1/13,0	–
от 1 до 5 лет	6306	9,8	4,1/41,1	0,01/0,1	0,1/1,2	2,1/22,3	2,6/26,2	0,8/8,2	0,05/1,0
Молодняки:									
6–20 лет	9551	7,4	2,8/39,0	0,04/0,6	0,12/1,5	2,9/39,0	1,0/14,0	0,4/5,0	0,04/0,5
20–40 лет	3004	2,7	0,6/23,0	0,1/4,0	–	–	–	–	–
Вторичные лиственные и смешанные леса (50–80 лет)	4891	4,8	2,2/46,0	0,02/0,4	0,1/3,0	2,1/43,0	0,06/1,0	0,1/3,0	0,03/0,4
Семенные куртины	1140	4,1	1,6/38,0	–	0,1/2,0	2,3/58,0	0,1/2,0	–	–
Недорубы:	1655	7,1	2,8/39,0	–	–	3,8/55,0	0,4/5,0	–	–
на свежих вырубках	240	21,7	4,6/21,0	–	–	14,2/66,0	2,5/13,0	–	–
прочие	1415	4,7	2,5/53,0	–	–	2,2/47,0	–	–	–
Экотоны (лес – вырубка)	960	11,7	3,0/26,0	0,1/1,0	0,1/1,0	4,7/39,5	2,9/25,2	0,9/8,1	–

Таблица 3

Численность фоновых видов мелких млекопитающих в коренных и трансформированных рубками биотопах по данным учетов канавками (в числителе – экз. на 10 канавко-суток, в знаменателе – % от улова)

Биотопы	Число канавко-суток	Экз. на 10 канавко-суток	Бурозубки			Грызуны			
			обыкновенная	средняя	малая	рыжая полевка	темная полевка	полевка-экономка	лесная мышовка
Спелые сосняки зеленомошные	58	1,9	0,7/36,3	0,04/2,1	0,2/12,2	2,2/40,5	–	–	0,02/1,0
Спелые ельники зеленомошные	13	1,3	0,6/53,5	0,01/13,0	0,16/7,0	0,33/26,9	–	–	–
Открытые вырубки:	77	1,5	0,7/47,5	–	0,13/9,3	0,5/32,0	0,03/3,1	0,01/1,0	0,07/5,9
свежие (до 1 года)	8	0,3	0,16/50,6	–	–	–	0,15/49,4	–	–
от 1 до 5 лет	70	1,6	0,8/47,7	–	0,13/8,9	0,4/1,9	0,03/2,2	0,02/1,1	0,02/1,1
Молодняки:									
6–20 лет	127	1,6	1,0/64,5	0,03/1,1	0,1/7,4	0,3/9,5	–	–	–
20–30 лет (смешанные)	29	1,5	0,6/39,0	0,01/3,1	0,01/3,1	0,7/45,5	–	–	–
30–40 лет (хвойные)	7	0,3	–	0,16/50,0	0,16/50,0	–	–	–	–
Вторичные лиственные и смешанные леса (40–70 лет)	18	1,5	0,4/24,1	0,07/3,8	0,4/24,1	0,4/24,1	0,07/3,8	–	0,3/20,1
Семенные куртины	46	2,3	0,7/30,7	0,1/4,0	0,5/23,1	0,5/23,1	–	–	–
Недорубы	35	1,8	1,2/66,0	0,1/5,1	0,2/11,8	0,2/11,8	–	–	0,03/1,7

Таблица 4

Изменение видового разнообразия и численности мелких млекопитающих в сосняке зеленомошном (в числителе) и после его вырубки (в знаменателе)

Показатель	Биотоп		
	сосняк спелый (контроль 1)	вырубка, лет	
		1–5	6–10
Число видов:			
всего	5/6	6/4	4/5
в среднем за год ( $M \pm SE$ )	$2,2 \pm 0,5/2,5 \pm 0,4$	$3,0 \pm 0,5/2,5 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,5/2,2 \pm 0,5$
Общая численность	8,3/7,1	12,7/6,9	12,9/6,4
в том числе:			
обыкновенная бурозубка	2,4(29)/2,3(32)	3,3(26)/3,7(53)	2,6(20)/3,7(58)
средняя бурозубка	0,1(1)/0,2(3)	0(0)/0(0)	0(0)/0,4(7)
малая бурозубка	0,2(2)/1,0(14)	0,3(2)/0,4(6)	0,1(1)/0,4(7)
рыжая полевка	5,3(67)/2,8(40)	0,6(4)/–	2,5(2)/0,6(9)
темная полевка	0,3(5)/0,7(10)	8,2(65)/2,6(38)	7,7(59)/1,3(19)
лесная мышовка	0(0)/0,1(1)	0,1(1)/0,1(2)	0(0)/0(0)

Примечание. В скобках дан индекс доминирования, % от улова.

нообразия всех исследованных групп (землеройки-бурозубки и лесные полевки) зафиксированы в плотносомкнутых молодых древостоях (особенно хвойных) 25–45-летнего возраста. Во вторичных насаждениях 50–70-летнего возраста вновь наблюдается рост численности мелких млекопитающих. Для них отмечен существенный рост видового разнообразия, но уже не за счет мышевидных грызунов, а за счет землероек (рис. 3).

Как показали учеты, наиболее сильные изменения в структуре биоценологических группиро-

вок и численности мелких млекопитающих происходят на вырубках в первые 10–15 лет после сплошной рубки древостоя. При этом особенно резко проявляются они на свежих вырубках (до 1 года), где постоянное население млекопитающих вообще отсутствует. Характер и скорость заселения млекопитающими свежих лесосек зависит от целого ряда факторов – степени и способа очистки лесосек, размеров и конфигурации вырубок и т. п. В целом, чем менее заверченный характер имеет удаление древостоя и очистка

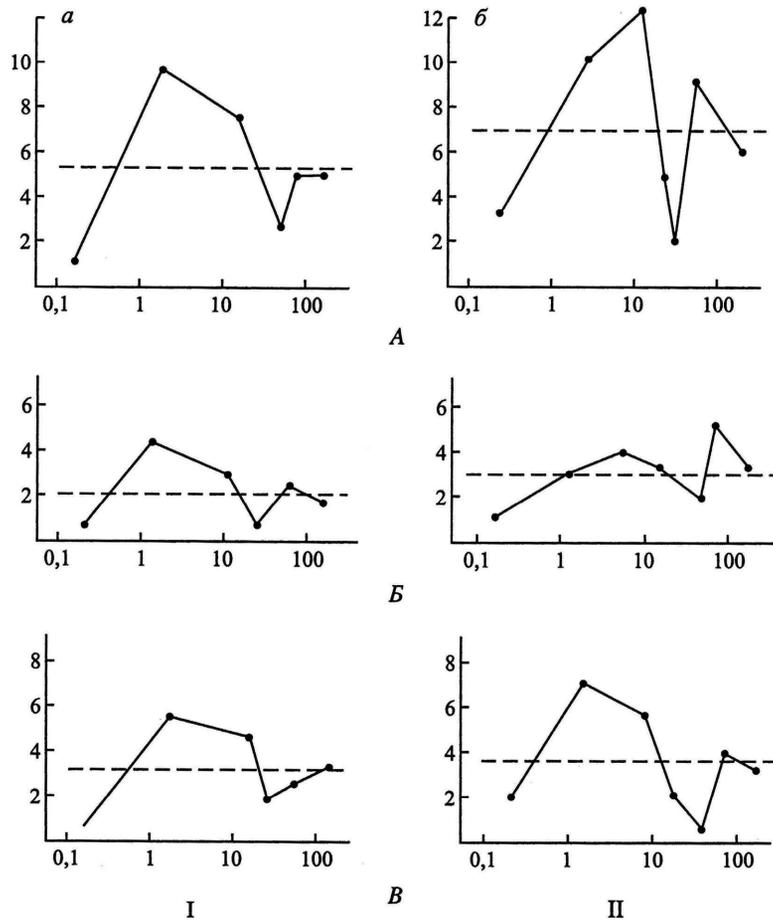


Рис. 3. Изменения численности (I) и видового разнообразия (II) мелких млекопитающих в процессе восстановления экосистем после рубки сосняков. А – все виды, Б – землеройки, В – мышевидные грызуны. По оси абсцисс – давность рубки, годы, в шкале десятичных логарифмов, по оси ординат – а – численность, экз. на 100 ловушко-суток, по оси ординат б – число видов

лесосек (оставление недорубов, слабая очистка, оставление крупных куч порубочных остатков и т. п.), тем интенсивнее идет повторное заселение вырубок животными. И наоборот, интенсивные мероприятия по очистке и содействию лесовозобновлению (хорошая очистка, размельчение или сжигание порубочных остатков, рыхление и химобработка напочвенного покрова и т. п.) отрицательно сказываются на скорости повторного заселения вырубок.

Результаты исследований показывают, что непосредственно после рубки численность и число видов мелких млекопитающих резко сокращаются (на свежих вырубках отлавливались единичные рыжие полевки, но и те – ближе к периферии лесосек и возле недорубов). Однако уже со 2-го года численность и видовое разнообразие зверьков существенно возрастают, достигая через 3–4 года после рубки значительно более высоких, чем до проведения рубок, значений. Иногда в качестве фактора, дополнительно влияющего на восстановление населения животных, называ-

ют также способ и степень очистки лесосек [7], [8], [14].

Как уже упоминалось, после сплошной рубки на лесосеках практически не остается постоянного населения млекопитающих. Возможно лишь посещение и временная концентрация представителей растительных видов возле куч порубочных остатков. Неудивительно поэтому, что отловы мелких млекопитающих на свежей вырубке (~6 месяцев), проведенные в сентябре 1997 года в Пудожском районе Карелии, вообще не дали никаких результатов, за исключением ловушек, поставленных непосредственно в крупные кучи порубочных остатков. Здесь пятью ловушками за 2 суток отловили всего несколько рыжих полевок. Вполне очевидно, что эти зверьки представляли часть небольшого населения данного вида, постоянно обитавшего в спелом ельнике, черничном еще до рубки. Зверьки питались в основном семенами ели из шишек с крон и ветвей срубленных елей, собранных в кучи. При этом на вырубке с практически уничтоженным травя-

но-кустарничковым ярусом других источников корма не было. Такая же ситуация наблюдалась в 1986 году на свежих вырубках на западе Карелии (окрестности д. Совдозеро, Суоярвский р-н) и в 1987 году в центральной части южной Карелии (окрестности д. Крошнозеро, Пряжинский р-н).

Имеет значение и степень (интенсивность) очистки лесосек (рис. 4). Как показали наблюдения, при очистке слабой интенсивности, с оставлением порубочных остатков на месте в кучах и валах, видовое разнообразие зверьков в первые 2–3 года после рубки восстанавливалось быстрее и в среднем было несколько выше, чем на вырубках с полной очисткой. В случаях когда сохраняются отдельные участки леса (недорубы, семенные куртины), они могут служить временным пристанищем для лесных млекопитающих и даже пунктами их последующей вторичной иммиграции, но вряд ли – источниками этой иммиграции. Последнее утверждение основывается на результатах стационарных исследований, где под нашим наблюдением находилась территория сосняка черничного как в течение 3 лет до, так и в течение 8 лет после сплошной его вырубki.

В первые месяцы после рубки зверьки на открытых участках отсутствовали, однако их численность в небольшом по площади недорубе (1000 м<sup>2</sup>) составляла около 25 экз. на 100 ловушко-суток. В основном это были рыжие полевки, численность которых оставалась высокой даже на 2-й год после рубки. Однако на 3-й год (к весне) ситуация резко изменилась: рыжая полевка исчезла, ее место заняли темная полевка и экономка, причем с гораздо меньшей численностью, чем на окружающих недорубы лесосеках. Таким образом, если говорить о собственно недорубах, каковыми являются, как правило, небольшие по площади участки тонкомера ели и неликвидной лиственной древесины, то их значение в качестве

объектов поселения и сохранения аборигенной лесной териофауны весьма невелико. Однако свое значение они имеют как объекты первоочередного заселения при последующей вторичной иммиграции лесных млекопитающих, идущей, как правило, от стены крупных лесных массивов.

На фоне недорубов особое значение имеют семенные куртины хвойных пород. В ходе стационарных исследований зафиксировано четкое отличие структуры биоценологических группировок мелких млекопитающих в крупных семенных куртинах сосны от таковой на окружающих куртинах вырубках. В частности, доля лесных видов (средняя бурозубка, рыжая полевка) оказалась здесь выше, чем на окружающих вырубках. Более того, на территории одной из крупных семенных куртин – объекта наших постоянных наблюдений – зафиксировано немногочисленное, но, по-видимому, постоянное поселение лесного лемминга – типично таежного, сибирского вида [3], [8], [11].

Наиболее активными иммигрантами свежих вырубок оказались молодые серые полевки. В июне 1987 года в центре свежей вырубki в давилки и конусы отловлены несколько молодых (неразмножающихся) полевок-экономок. Здесь в ходе рубки был практически уничтожен травяно-кустарничковый ярус растительности, отсутствовали источники корма, до ближайшей стены леса было не менее 400 м. Таким образом, процесс заселения вырубок в первые годы после рубки зависит от нескольких факторов, в том числе наличия куч порубочных остатков, недорубов, а также близости спелого леса. Немаловажную роль играет скорость восстановления растительности, которая, в свою очередь, зависит от гидрологического режима, рельефа, плодородия почв. При глубоких нарушениях напочвенного покрова, огневой очистке лесосек, их заболачивании на

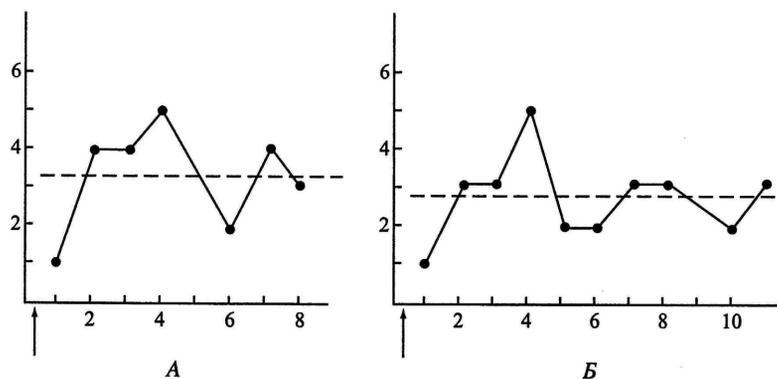


Рис. 4. Изменение числа видов мелких млекопитающих на злаковых вырубках с разными способами очистки. А – очистка путем сбора и оставления порубочных остатков на месте, Б – очистка с вывозом и частичным сжиганием порубочных остатков. Пунктирные линии – средние значения. По оси абсцисс – годы со времени вырубki, по оси ординат – число видов

фоне бедных непродуктивных почв повторное заселение вырубок может значительно замедляться.

Как следует из наблюдений на стационарах, основными источниками иммиграции мелких млекопитающих являются массивы невырубленных суходольных и пойменных (водоохраных) лесов. Мелкие же недорубы в основном имеют значение лишь как объекты первичного заселения, но отнюдь не как источники иммиграции. Однако крупные семенные куртины уже на ранних этапах заселения привлекают в качестве временных биотопов многих охотничьих животных (заяц-беляк, лось, медведь, рябчик, тетерев, глухарь и др.) и одновременно могут обеспечивать сохранение поселений отдельных видов мелких лесных млекопитающих (рыжая полевка, лесной лемминг).

Вторая стадия – собственно открытые (необлесившиеся) вырубки, с давностью рубки от 1 до 5–7 лет. Здесь формируется травяно-кустарничковый ярус растительности, который может достигать значительного развития, особенно на злаковых вырубках. Часто наблюдается активное плодоношение ягодных кустарничков, особенно на микроповышениях и периферии вырубков. Открытые вырубки характеризуются специфичным температурным режимом и влажностью приземных слоев воздуха, спецификой снежного покрова. Создаются в целом благоприятные, хотя и менее стабильные, чем в хвойных лесах, условия среды обитания мелких млекопитающих, численность и видовое разнообразие которых здесь выше, чем под пологом спелых хвойных лесов (табл. 5).

Численность мелких млекопитающих на открытых и зарастающих вырубках значительно

выше, чем в спелых хвойных насаждениях, и превышает средние по биотопам значения. Наиболее сильные изменения численности в первые 10 лет после рубки характерны для популяций двух основных видов полевков – рыжей и темной, составляющих основу уловов мышевидных грызунов на злаковых вырубках. Это подтверждается результатами более чем десятилетних исследований на сплошной злаковой (вейниково-луговиковой) вырубке площадью 8 га. Сплошная рубка сосняка зеленомошного (черничный и чернично-травяной типы) проведена в конце 1979 года (осень – зима) и сопровождалась интенсивной очисткой лесосеки (сбор в кучи, частичный вывоз или сжигание порубочных остатков). Учеты мелких млекопитающих проводились давилками и ловчими канавками в первые 10 лет после рубки – в мае, июле и сентябре – октябре, а в отдельные годы – и в феврале. Ценность таких наблюдений повышалась благодаря находящемуся в непосредственной близости почти идеальному контролю – крупному (более 20 га) массиву спелых сосняков зеленомошной группы, которые соответствовали вырубленному в 1979 году массиву сосняков. Учеты в сосняке проводились параллельно и с использованием точно таких же методов, как и в опыте (вырубка). В итоге удалось проследить весь процесс трансформации биоценологических группировок мелких млекопитающих в течение первого десятилетия после рубки, то есть в период наиболее сильных изменений. В течение первых 7–8 лет основной фон населения вырубки составляла темная полевка, которая наряду с обыкновенной бурозубкой определяла и характер волн флуктуации численности зверьков. В процессе восстановления лесной растительности

Таблица 5

Численность и соотношение видов мелких млекопитающих на вырубках различного типа

Показатель	Тип вырубки		
	Вейниково-луговиковая	Луговиково-кустарничковая	Осоково-сфагновая
Общая численность	12,7/6,6	8,4/ –	4,3/2,0
в том числе:			
обыкновенная бурозубка	2,9(23)/3,7(56)	2,2(26)/ –	1,2(23)/0,4(20)
средняя бурозубка	0(0)/0,2(3)	0(0)/ –	0,1(2)/0(0)
малая бурозубка	0,2(2)/0,4(7)	0(0)/ –	0,2(5)/0,3(15)
рыжая полевка	1,6(12)/0,3(4)	2,4(29)/ –	0,8(19)/0,2(10)
темная полевка	7,6(62)/1,9(29)	3,7(44)/ –	2,0(46)/1,0(50)
обыкновенная полевка	0,07(1)/0(0)	0(0)/ –	0(0)/0(0)
лесная мышовка	0,07(1)/0,1(1)	0,08(1)/ –	0(0)/0(0)
лесной лемминг	0(0)/0(0)	0(0)/ –	0(0)/0,1(1)

Примечание. В числителе – экз. на 100 ловушко-суток, в знаменателе – экз. на 10 конусо-суток, в скобках – индекс доминирования, % от улова. Прочерк – учеты не проводили.

происходила постепенная сдача позиций темной полевкой и их завоевание рыжей.

Наиболее значительные изменения структуры населения мышевидных грызунов произошли после депрессии 1988 года, то есть через 9 лет после рубки. В дальнейшем восстановление лесной среды в процессе вторичной сукцессии приводит к ухудшению экологических условий для темной полевки. В результате преимущество вновь получает рыжая полевка, которая занимает лидирующее положение по обилию и доле участия в уловах мышевидных грызунов. Фактически с полным основанием можно говорить о сукцессии биоценологических группировок мышевидных грызунов как составной части лесных экосистем на вырубках.

Процессы аналогичного характера (на начальном этапе – рост численности серых полевок, а затем спад и завоевание доминирующих позиций лесными полемками рода *Clethrionomys*) зафиксированы и в ряде других регионов таежного Севера Европейской России [2], [12], а также в Скандинавии [16]. Однако есть и особенности, в том числе связанные с различными отношениями рыжей и темной полевок к опушкам. В итоге создается впечатление, что первая из них активно мигрирует на вырубку, а часть населения второй вытесняется на периферию вырубки конкурентом, то есть полевкой-экономкой, обилие которой на лесосеке в несколько раз выше средней.

Выявленные различия в спектре и соотношении населяющих различные биотопы видов становятся еще очевиднее при сопоставлении средней бурозубки, рыжей и темной полевок. Для последних двух видов соотношение обилия в сравниваемых местообитаниях прямо противоположно: для рыжей полевки зафиксировано почти десятикратное превосходство численности в сосняках (над вырубками), для темной же – наоборот. Так, рыжая полевка абсолютно доминирует в уловах мышевидных грызунов в сосняке (88 %), темная полевка – на вырубке (97 %).

Установлено также, что структуру населения млекопитающих ранних стадий сукцессии леса определяет и тип вырубки. Последний же зависит от комплекса экологических условий формирования фитоценоза после рубки: рельефа, типа почв, гидрологических характеристик, исходного типа лесного биогеоценоза. Еще полвека назад основатель динамической типологии лесов И. С. Мелехов (1966) справедливо отмечал, что специфика структуры фитоценозов на вырубках различных типов должна влиять и на состав населяющих эти вырубки позвоночных животных. Между тем структура биоценологических группировок и осо-

бенности динамики численности млекопитающих на вырубках разных типов в сравнительном аспекте не изучены. Те немногие работы, которые имеются, написаны по материалам, полученным в основном на вырубках из-под ельников, для регионов же сосновых лесов подобных работ нет вообще.

Не менее важно ответить на вопрос о том, различаются ли по населению мелких млекопитающих вырубки различных типов. В наших исследованиях наиболее полно представлены 3 типа вырубок, население которых сравнивалось на протяжении 11 лет в ходе массовых учетов мелких млекопитающих, проводимых одновременно в течение 3 сезонов (весна, лето, осень) и в равных объемах (см. табл. 5). В итоге установлено, что все три типа вырубок существенно различаются между собой по численности мелких млекопитающих, ее динамике и соотношению видов. Так, численность мелких млекопитающих на вейниково-луговиковой вырубке выше, чем на луговиково-кустарничковой и осоково-сфагновой, соответственно в 1,5 и 3 раза. При этом во всех трех случаях доминирует темная полевка, однако доля участия этого вида, как и других видов в уловах, резко меняется в зависимости от типа вырубки.

На фоне сокращения спектра видов (по сравнению со злаковой вырубкой) в биоценологических группировках заболоченных лесосек в 1,5–2 раза выше доля участия малой бурозубки, причем в отдельные сырые годы этот вид здесь даже доминировал. Последнее обстоятельство представляет особый интерес в свете многолетней дискуссии о степени гидрофильности этого вида. Кроме того, на периферии осоково-сфагновой вырубki довольно регулярно отлавливались лесные лемминги или фиксировались характерные следы их пребывания.

В итоге полученные нами данные позволяют с уверенностью говорить о специфике биоценологических группировок вырубок разных типов в период их активного формирования, в частности в первые 6–8 лет после рубки. Более того, формирование характерных фитоценозов на вырубках разных типов определяет специфику биоценологических группировок млекопитающих и на этих вырубках, и на участках формирующихся здесь молодняков (табл. 6). Иными словами, еще задолго до рубки за счет своеобразия типа вырубаемого леса задаются и особенности сукцессии биоценологических группировок мелких млекопитающих.

Отчетлива и смена доминантов: если в коренном сосновом лесу постоянно численно домини-

Таблица 6

Численность и соотношение видов мелких млекопитающих в различных по составу и сомкнутости молодняках 10–20 лет

Показатель	Несомкнутый лиственный	Сомкнутый лиственный	Сомкнутый сосново-лиственный
Учеты ловушко-линиями			
Общая численность	8,5	13,8	8,4
Обыкновенная бурозубка	5,6 (66)	2,5 (18)	3,1 (37)
Средняя бурозубка	0,06 (0,4)	–	0,07 (1)
Малая бурозубка	0,06 (0,4)	0,1 (1,0)	0,07 (1)
Рыжая полевка	1,1 (13)	10,5 (76)	4,4 (52)
Темная полевка	1,6 (19)	0,7 (5)	0,7 (8)
Полевка-экономка	0,1 (1,1)	–	–
Лесная мышовка	–	–	0,07 (1)
Учеты ловчими канавками			
Общая численность	6,6	7,4	6,4
Обыкновенная бурозубка	5,1(70)	5,8(72)	4,0(40)
Средняя бурозубка	–	0,2 (3)	0,5 (12)
Малая бурозубка	0,2 (4)	0,3 (5)	0,1 (2)
Крошечная бурозубка	0,09 (2)	–	–
Водяная кутора	0,2 (4)	0,1 (2)	–
Рыжая полевка	0,09 (2)	0,9 (16)	1,3 (34)
Темная полевка	0,8 (15)	0,1 (2)	0,4 (10)
Водяная полевка	–	–	0,1 (2)
Лесной лемминг	0,09 (2)	–	–
Число видов	9	5	7

Примечание. В скобках – индекс доминирования, % от улова.

рует рыжая полевка, то на вырубке преобладают представители рода серых полевок (темная или экономка). Между тем все вырубки Южной Карелии, где в отловах грызунов доминировала рыжая полевка, появились на месте рубок ельников (или соседствовали с ними). Характерно, что все они были захламлены и слабо очищены от порубочных остатков, тогда как злаковые вырубки, где доминировала, например, темная полевка, были хорошо очищены. Возможно, именно эти факторы повлияли и на видовой состав полевок. Что же касается злаковых вырубок, то они нормально функционируют не в качестве временных, а как своего рода резервные станции мышевидных грызунов. Высокая численность последних (особенно представителей рода *Microtus*) обеспечивает дополнительную гарантию выживания популяций как хищников (миофаги), так и их жертв (полевки) в условиях нестабильного климата таежной зоны Восточной Фенноскандии. Последнее положение подтверждается и тем, что в отдельные, нестандартные по погодным условиям годы мы фиксировали довольно высокую зимнюю численность полевок именно на вырубках (при почти нулевой численности в окружающих лесах). Есть

и промежуточные варианты, например сравнительно небольшие изменения, касающиеся конкретных соотношений видов при сохранении основных доминантов.

Тем не менее в рамках этого широкого спектра можно выделить ряд общих закономерностей. При сплошной рубке высокопроизводительных сосновых лесов в средней и южной тайге Восточной Фенноскандии, особенно сосняков черничных и чернично-травяных, а также сосново-еловых лесов, сопровождающейся формированием злаковых вырубок с мощным травянистым ярусом, наблюдается отчетливая смена видов мышевидных грызунов. Она характеризуется сменой доминанта (рыжая полевка) в хвойном лесу на представителей рода *Microtus* на вырубке (темная полевка, полевка-экономка). Обычно доминирование нового вида сохраняется 6–8 лет после рубки, а в отдельных случаях, при задержке лесовозобновления, и дольше. Характерный пример – вырубка Восточная Гомсельгского стационара, где население рыжей полевки полностью сменилось на популяцию темной, причем первая практически исчезла в первые 3–4 года после рубки. Аналогичные изменения могут проис-

ходить при рубке ельников, особенно в случае формирования злаковых вырубок.

Гораздо реже может происходить смена видов в рамках рода *Clethrionomys*. При рубке же низкопроизводительных сухих и заболоченных сосняков (лишайниковые, долгомошные, осоково-сфагновые) и их пирогенных вариантов никакой смены видов вообще не происходит, как не наблюдается и сколько-нибудь заметного роста численности. При рубке сосняков зеленомошных невысокой производительности (IV–V классы бонитета) и формировании кустарничково-зеленомошных вырубок и их пирогенных вариантов (кустарничково-зеленомошные, кустарничково-зеленомошные паловые, кипрейно-паловые) смены доминирующих видов полевков также не происходит, хотя могут наблюдаться изменения в их соотношении (например, увеличение доли *Microtus*) и одновременно увеличение численности и доли в уловах малой бурозубки и лесной мышовки. Тем не менее прежний доминант (рыжая полевка) сохраняется. Такая ситуация характерна для сосняков зеленомошной группы северной тайги Восточной Фенноскандии и хвойных лесов таежной зоны Русской равнины [7], [18]. Мозаичность ландшафта, структура и состав соседствующих со свежей вырубкой биоценозов могут существенно влиять на последующие изменения в структуре группировок мелких млекопитающих. Как удалось установить в процессе стационарных исследований, наличие совершенно разных источников иммиграции полевков несомненно определяет как четкое доминирование темной полевки в одном случае, так и стойкое преобладание полевки-экономки в другом случае, когда расстояние между обоими объектами всего 4 км.

Лесохозяйственные мероприятия на вырубках существенно влияют на характер и скорость сукцессионных процессов, протекающих в биотопических группировках мелких млекопитающих. Оставление порубочных остатков на месте в кучах и валах, а также создание лесных культур хвойных пород, как это произошло на одном из объектов стационарных наблюдений (вырубка Западная), обеспечило сравнительно более высокую долю участия рыжей полевки и сократило период доминирования представителя рода *Microtus*. Формирование же мощного травяного покрова на хорошо очищенной злаковой вырубке (Восточная) определило полное и довольно длительное доминирование представителя серых полевков.

В группе землероек после рубки леса в абсолютном большинстве случаев мы констатируем лишь некоторое перераспределение доли участия

видов (например, некоторое увеличение этого показателя для малой бурозубки). В исключительных случаях (заболоченная вырубка экспериментальной территории) есть основания говорить и о смене видов землероек.

Таким образом, на сплошных открытых (необлесившихся) вырубках наблюдается общее увеличение численности мелких млекопитающих, а также перераспределение видов в пользу представителей открытых стадий (полевки рода *Microtus*). Вырубки очень динамичны по экологическим условиям, численности и видовому составу мелких млекопитающих. На структуру их населения влияют давность рубки, тип вырубки, конфигурация и площадь лесосек, породный состав вырубленного древостоя. Обычно вырубки характеризуются менее стабильным населением зверьков, демонстрирующих здесь более резкие колебания численности по годам и в течение сезона по сравнению со спелыми сосняками-зеленомошниками, хотя средний показатель учета на вырубках выше. Это справедливо как для мелких млекопитающих в целом, так и для отдельных экологических групп (землеройки, мышевидные грызуны).

Установленные выше закономерности подтверждают выявленную ранее зависимость направления вторичной сукцессии лесных фитоценозов от комплекса ландшафтных условий конкретной территории того или иного типа ландшафта. Помимо чисто теоретического значения этот вывод имеет и прогностический аспект: зная комплекс ландшафтных условий конкретной территории (коренная формация, доминирующий тип коренного биогеоценоза, степень заболоченности территории, рельеф, почвенные и гидрологические условия, степень мозаичности местообитаний), можно с высокой долей вероятности предвидеть ход последующих после рубки хвойных лесов изменений в структуре биоценологических группировок и численности мелких млекопитающих, а также численности миофагов. Учитывая важное лесохозяйственное значение, например, темной полевки на вырубках Восточной Фенноскандии, возможность такого прогноза имеет серьезное практическое значение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализируя полученные результаты, необходимо особо подчеркнуть, что неизбежно наступающий после промышленных рубок процесс трансформации и восстановления лесной биоты отличается крайней сложностью и неоднозначностью. Он затрагивает все ее составляющие компоненты, в том числе и такие характерные,

каким является население мелких млекопитающих – землероек-бурозубок и лесных, в том числе рыжих и темных, полевков. В результате сплошной рубки хвойных лесов происходят значительные изменения и в динамике численности, и в видовом разнообразии как всего населения мелких млекопитающих, так и отдельных их групп: землероек и мышевидных грызунов. Эти изменения особенно заметны в первые пять лет после рубки. На лесосеках не только увеличивается общая численность мелких млекопитающих (прежде всего за счет мышевидных грызунов), но и меняется характер ее изменений: увеличивается варьирование и частота колебаний в смежные годы, усиливается несбалансированность видовых группировок землероек (рост индекса Паркера – Бергера) и др. При некотором сокращении видового разнообразия землероек существенно и статистически достоверно возрастает видовое богатство мышевидных грызунов.

Все изложенное выше вполне согласуется с гипотезой альтернативных жертв, сформулированной для Финляндии Х. Хенттоненом [16] и поддерживаемой многими исследователями в Скандинавии. Согласно этой гипотезе, формирование мозаичного антропогенного ландшафта способствует поддержанию высокой численности мышевидных грызунов и их потребителей. В годы депрессий мышевидных грызунов хищников может перемещаться на альтернативные жертвы, например на лесных тетеревиных птиц, снижая успешность их размножения.

Гипотеза Хенттонена, по крайней мере в отношении причин поддержания высокой численности полевков в мозаичном антропогенном ландшафте, подтверждается и для Карелии, но с одним важным дополнением. Впрочем, в наших условиях ее действие ограничено территорией Приладожья и Заонежья. Здесь характерны ландшафты с преобладанием относительно высокобонитетных ельников и сосняков, после рубки которых формируются злаковые лесосеки с высокой численностью полевков. В северной тайге, где формируются крайне бедные грызунами лишайниковые, брусничные и осоково-сфагновые вырубки, эта гипотеза не работает.

Фрагментация коренных хвойных лесов, как один из начальных этапов антропогенной трансформации, приводит к кардинальным изменениям в динамике численности мелких млекопитающих. Дальнейшая радикальная трансформация лесов, и прежде всего сплошная рубка, вызывают не менее значительные изменения популяций, касающиеся как уровня численности, так и ее

многолетней динамики. Исследования показывают, что общая численность как землероек, так и грызунов в трансформированных биотопах в среднем достоверно выше, чем в контроле, но менее стабильна. Размах многолетних колебаний на вырубках и в молодняках также гораздо больше, чем в спелых сосняках (соответственно 2,5; 3 и 1,9-кратные колебания).

В целом же популяционные волны мелких млекопитающих на вырубках и в сосняках довольно синхронны, хотя годы отдельных пиков и депрессий могут и не совпадать (например, 1984 и 1991 годы). Более того, в отдельные нестандартные по метеоусловиям периоды вырубки могут выполнять роль стаций переживания, по крайней мере, для землероек. При достаточно высокой численности этих зверьков на вырубках в лесных местообитаниях она оказалась практически нулевой. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что поддержание численности землероек на лесосеках и в молодняках примерно на одном уровне с облесенным контролем происходит, как правило, за счет лишь одного доминирующего вида – обыкновенной бурозубки, тогда как население остальных представителей этой группы зверьков заметно сокращается. Этим обусловлено и увеличение показателя несбалансированности сообщества – индекса Паркера – Бергера, составившего в сосняках 0,91, на вырубках 0,96 и в молодняках 0,97.

В процессе 30-летних комплексных исследований удалось выявить определенную специфику трендов изменений численности и смены доминантов мелких млекопитающих после сплошной рубки коренных лесов разных типов. При этом в таежных лесах Восточной Фенноскандии один и тот же тип фитоценоза в разных ландшафтных условиях может иметь разную направленность вторичной сукцессии. Помимо структуры фитоценоза, на специфику сукцессии биоценологических группировок мелких млекопитающих после рубки хвойных лесов констелляционное воздействие оказывает целый ряд факторов: ландшафтные условия местности (например, характер рельефа), особенности вторичной сукцессии растительности на вырубках различных типов, место территории в ареале рассматриваемых видов, способ рубки и очистки лесосек. Выявляется довольно широкий спектр вариантов трансформации биоценологических группировок млекопитающих после рубки лесов разных типов: от полной смены доминирующих видов (фактически полная сукцессия видового состава) до полного отсутствия такой ротации, а также экологические факторы, контролирующие этот процесс.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динесман Л. Г. Влияние диких млекопитающих на формирование древостоев. М.: Наука, 1961. 167 с.
2. Ельшин С. В., Каратаев А. Б. Сукцессии лесных млекопитающих на вырубках южной тайги // V съезд ВТО. М.: Наука, 1988. С. 275–276.
3. Ивантер Э. В. Популяционная экология мелких млекопитающих таежного Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1975. 246 с.
4. Ивантер Э. В. Млекопитающие. Животный мир Карелии. Петрозаводск: Карелия, 2008. 296 с.
5. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Млекопитающие как биологические индикаторы экологических нарушений // Проблемы экологической токсикологии. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1998. С. 82–93.
6. Калинин М. В. Экология охотничьих зверей и птиц сосновых вырубков: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Л.: ЛГУ, 1973. 23 с.
7. Керзина М. Н. Влияние вырубков и гарей на формирование лесной фауны // Роль животных в жизни леса. М.: Изд-во МГУ, 1956. С. 21–304.
8. Курхинен Ю. П., Данилов П. И., Ивантер Э. В. Млекопитающие Восточной Фенноскандии в условиях антропогенной трансформации таежных экосистем. М.: Наука, 2006. 208 с.
9. Ларин Б. А. Влияние интенсивных рубок леса на продуктивность охотничьих угодий // Труды ВНИО. 1955. Вып. 14. С. 137–144.
10. Наумов С. П., Рукковский Н. Н. Влияние рубки леса и его возобновления на полевки рода *Clethrionomys* и *Microtus* // Новые проблемы зоологической науки. Ставрополь, 1979. Ч. 2. С. 303–306.
11. Сиивонен Л. Млекопитающие Северной Европы. М.: Прогресс, 1979. 232 с.
12. Турьева В. В. Фауна мышевидных грызунов различных типов леса и ее изменения под влиянием рубок // Труды Коми фил. АН СССР. 1956. Вып. 4. С. 112–115.
13. Duffendorfer J. E., Gaunes M. S., Holt R. D. Habitat fragmentation and movements of three small mammals (*Sigmodon*, *Microtus* and *Peromyscus*) // *Ecology*. 1978. Vol. 76. № 3. P. 827–829.
14. Gashwiler J. S. Plant and mammal changes on a clearcut in West-Central Oregon // *Ecology*. 1970. Vol. 51. № 6. P. 1018–1026.
15. Hansson Z. Landscape ecology of boreal forest // *Trend Ecol. and Evol.* 1992. Vol. 7. P. 299–302.
16. Henttonen H., Kaikusalo A., Tass J., Viitala J. Interspecific competition between small rodents in Subarctic and boreal ecosystems // *Oikos*. 1977. Vol. 29. P. 581–590.
17. Keith J. S., Smith D. J., Morris J. K. Dynamics of snowshoe hare population in fragmented habitat // *Canad. J. Zool.* 1993. Vol. 71. P. 1385–1392.
18. Lindzey A. Response of the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) to the transition between disturbed and undisturbed habitats // *Canad. J. Zool.* 1989. Vol. 67. № 2. P. 505–512.
19. May R. M. Island biogeographie and the design of wildlife reserves // *Nature*. 1975. Vol. 254. № 5497. P. 177–178.
20. Morris D. Tests of density-dependent habitat selection in a patchy environment // *Ecol. Monogr.* 1987. Vol. 57. № 4. P. 269–281.

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

#### INTENSIVE FOREST CUTTING INFLUENCE ON SMALL MAMMALS' POPULATION IN EASTERN FENNOSCANDIA

As a result of intensive forest exploitation, significant changes in the structure and numerical strength of small mammals inhabiting the territory of Eastern Fennoscandia were registered. The data were obtained in the course of the extended research conducted in 1958–2015. The effect of forest cuttings on the structure, numerical strength, and territorial distribution of the small mammals' population was studied. Ecological characteristics of 11 small mammal species of the region were analyzed. It was established that the general effect of concentrated forest cuttings led to the decrease in mammal population, transfer to the negative trends in population dynamics and species' settlements, deprecation in reproductive activity.

Key words: population, dynamics of population strength, environment transformation, biotypes, forest restoration, organization and population density

#### REFERENCES

1. Dinesman L. G. *Vliyaniye dikikh mlekopitayushchikh na formirovaniye drevostoev* [The impact of wild mammals on forest stands]. Moscow, Nauka Publ., 1961. 167 p.
2. El'shin S. V., Karataev A. B. Succession of forest mammals on southern taiga clearings [Suktssessii lesnykh mlekopitayushchikh na vyrubkakh yuzhnoy taygi]. *V congress VTO*. Moscow, Nauka Publ., 1988. P. 275–276.
3. Ivanter E. V. *Populyatsionnaya ekologiya melkikh mlekopitayushchikh taezhnogo Severo-Zapada SSSR* [Population ecology of small mammals of the North-West USSR taiga]. Leningrad, Nauka Publ., 1975. 246 p.
4. Ivanter E. V. *Mlekopitayushchie Karelii* [Mammals of Karelia]. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 2008. 296 p.
5. Ivanter E. V., Korosov A. V. Mammals as biological indicators of environmental violations [Mlekopitayushchie kak biologicheskie indikatory ekologicheskikh narusheniy]. *Problemy ekologicheskoy toksikologii*. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 1998. P. 82–93.

6. Kalinin M. V. *Ekologiya okhotnich'ikh zverey i ptits sosnovykh vyrubok: Avtores. diss. ... kand. biol. nauk* [Ecology of hunting animals and birds of pine cuttings. The author's abstract dis. ... cand. biol. sciences]. Leningrad, LGU Publ., 1973. 23 p.
7. Kerzina M. N. The impact of the felling and slash areas on the formation of forest fauna [Vliyanie vyrubok i garey na formirovanie lesnoy fauny]. *Rol' zhyvotnykh v zhizni lesa*. Moscow, MGU Publ., 1956. P. 21–304.
8. Kurkhinen Yu. P., Danilov P. I., Ivanter E. V. *Mlekovpitayushchie Vostochnoy Fennoskandii v usloviyakh antropogennoy transformatsii taezhnykh ekosistem* [Mammals of Eastern Fennoscandia under conditions of taiga ecosystems anthropogenic transformation]. Moscow, Nauka Publ., 2006. 208 p.
9. Larin B. A. The effect of intensive logging on the productivity of the hunting grounds [Vliyanie intensivnykh rubok lesa na produktivnost' okhotnich'ikh ugodiy]. *Trudy VNIO*. 1955. Issue 14. P. 137–144.
10. Naumov S. P., Rukovskiy N. N. The effect of logging and its regeneration on voles of *Clethrionomys* and *Microtus* genus [Vliyanie rubki lesa i ego vozobnovleniya na polevok roda *Clethrionomus* i *Micronus*]. *Novye problemy zoologicheskoy nauki*. Stavropol, 1979. Part 2. P. 303–306.
11. Siivonen L. *Mlekovpitayushchie Severnoy Evropy* [Mammals of Northern Europe]. Moscow, Progress Publ., 1979. 232 p.
12. Tur'eva V. V. The fauna of mouse-like rodents of different forest types and its changes under cutting influences [Fauna myshevidnykh gryzunov razlichnykh tipov lesa i ee izmeneniya pod vliyaniem vyrubok]. *Trudy Komi fil. AS USSR*. 1956. Issue 4. P. 112–115.
13. Duffendorfer J. E., Gaunes M. S., Holt R. D. Habitat fragmentation and movements of three small mammals (*Sigmodon*, *Microtus* and *Peromyscus*) // *Ecology*. 1978. Vol. 76. № 3. P. 827–829.
14. Gashwiler J. S. Plant and mammal changes on a clearcut in West-Central Oregon // *Ecology*. 1970. Vol. 51. № 6. P. 1018–1026.
15. Hansson Z. Landscape ecology of boreal forest // *Trend Ecol. and Evol.* 1992. Vol. 7. P. 299–302.
16. Henttonen H., Kaikusalo A., Tass J., Viitala J. Interspecific competition between small rodents in Subarctic and boreal ecosystems // *Oikos*. 1977. Vol. 29. P. 581–590.
17. Keith J. S., Smith D. J., Morris J. K. Dynamics of snowshoe hare population in fragmented habitat // *Canad. J. Zool.* 1993. Vol. 71. P. 1385–1392.
18. Lindzey A. Response of the white-footed mouse (*Peromyscus leucopus*) to the transition between disturbed and undisturbed habitats // *Canad. J. Zool.* 1989. Vol. 67. № 2. P. 505–512.
19. May R. M. Island biogeography and the design of wildlife reserves // *Nature*. 1975. Vol. 254. № 5497. P. 177–178.
20. Morris D. Tests of density-dependent habitat selection in a patchy environment // *Ecol. Monogr.* 1987. Vol. 57. № 4. P. 269–281.

Поступила в редакцию 25.11.2015

АНАТОЛИЙ ЕФРЕМОВИЧ БОЛГОВ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой зоотехнии, рыбоводства и товароведения агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*bolg@petsu.ru*

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ, СЕЛЕКЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИЙ В ПЛЕМЕННОМ МОЛОЧНОМ ЖИВОТНОВОДСТВЕ\*

Научные и прикладные проблемы освоения инноваций в племенном молочном животноводстве разработаны недостаточно. Целью работы было исследовать основные факторы использования и совершенствования структуры инноваций в племенных хозяйствах при производстве молока. Представлено научное толкование понятия «инновация», рассмотрены идентификационные признаки, по которым инновация отличается от новшества или нововведения. Дан анализ вариантов и типов существующих и применяемых инноваций. В дополнение к ним предложено особо выделить селекционные инновации, которые направлены на модернизацию и развитие самого субъекта производства – животных (коровы, быки, молодняк), а потому имеют фундаментальное значение для успеха реализации большинства других видов инноваций. Предложена структура селекционных инноваций, включающая 11 элементов и современных методов совершенствования молочных животных и стад. Рассмотрен опыт инновационного развития племенного молочного животноводства в Республике Карелия, использования айрширской породы скота как надежного носителя селекционных инноваций и конкурентоспособности. Дана характеристика созданного инновационного продукта – типа «Карельский» айрширской породы с продуктивностью коров за первую лактацию 7379 кг молока при суммарной продукции жира и белка 537,2 кг, за третью – 8703 кг и 625,9 кг соответственно. За 10-летие (2004–2014 годы) удой по всей популяции айрширов в Карелии увеличен с 4202 до 6779 кг молока. Таким образом, внедрение комплекса инноваций в стадах айрширского скота, разведение животных нового типа обеспечивают рост продуктивности коров, интенсификацию производства молока и племенной продукции, модернизацию и повышение эффективности молочного животноводства.

Ключевые слова: инновации, селекционные инновации, молочное скотоводство, айрширская порода, племенные заводы, тип «Карельский»

Актуальной задачей дальнейшего развития молочного животноводства в России является его модернизация и превращение в высокоэффективную отрасль. Главным фактором решения этой сложной проблемы следует считать разработку и использование инновационных методов во всех сферах производственной деятельности скотоводческих предприятий, и прежде всего при производстве молока.

Термин «инновация» происходит от латинского «*novatio*», что означает «обновление» (или «изменение»), и приставки «*in*», которая переводится с латинского как «в направлении»; если переводить дословно «*innovatio*» – «в направлении изменений». Понятие «инновация» развито в трудах Й. Шумпетера, который в 1934 году ввел термин «экономическая инновация» [15]. В XX веке учение о нововведениях развилось и оформилось в виде целой науки – инноватики. В настоящее время инновация (англ. *innovation*) понимается как востребованное рынком внедренное новшество, обеспечивающее качественный рост эффективности систем, процессов или продукции, услуг.

Реальная инновация отличается идентификационными признаками:

- это не всякое новшество или нововведение, а только такое, которое существенно повышает эффективность действующей системы;
- это результат с фиксированным получением дополнительной ценности (прибыль, опережение, лидерство, приоритет, коренное улучшение, качественное превосходство, креативность, прогресс);
- инновация не является инновацией до того момента, пока она успешно не внедрена и не начала приносить пользу;
- используются охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности, обеспечивается выпуск патентоспособной продукции, товаров или услуг, сопоставимых по качеству с мировым уровнем.

По литературным данным [2], [3], [4], [5], [6], инновации подразделяются на инвестиционные, производственные, технологические, экономические, организационные, процессные, продуктовые, торговые, маркетинговые, инновационный менеджмент, управленческие и др. В той или иной

степени они могут осваиваться отраслью молочного скотоводства. В дополнение к этому мы предлагаем особо выделить селекционные инновации, которые имеют фундаментальное значение для успеха реализации всех других видов инноваций, так как они направлены на модернизацию и развитие самого субъекта производства – животных (коровы, быки, молодняк). Высокое качество животных – обязательное условие успешной инновационной деятельности в молочном скотоводстве, особенно в племенной его части.

В последнее время появились публикации, посвященные проблемам разработки и освоения инноваций в отечественном молочном животноводстве [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]. В них представлены в основном материалы по производственным, технологическим, организационным, процессным инновациям и мало отражены проблемы создания животных стад, типов, популяций, обладающих высокой продуктивностью, технологичностью и конкурентоспособностью в условиях инновационного процесса.

В нашей работе, используя материалы собственных исследований, литературные, статистические и другие данные, мы изучали селекционные инновации, их специфику, структуру, пути внедрения. Исследования проводили в племенных хозяйствах (племязаводы, племярепродукторы) по разведению скота айрширской породы в Республике Карелия. Поскольку селекционные инновации нуждаются в детальной проработке, включая способы их реализации, сначала рассмотрена их структура.

1. Выбор молочных пород. В настоящее время в нашей стране доминируют голштинская и голштинизированная черно-пестрая породы, на долю которых приходится 64,5 % всего подконтрольного поголовья скота (ВНИИплем, 2013). Однако в России с ее огромным разнообразием природных, климатических, кормовых, производственных, зоотехнических, кадровых факторов вряд ли оправдан путь развития скотоводства на базе использования монопороды, даже такой выдающейся, каковой является голштинская. Переход преимущественно на одну породу неизбежно сопровождается уменьшением численности местных пород, обеднением отечественного генофонда скота из-за утраты ценнейших комплексов генов, обуславливающих высокую резистентность к заболеваниям, приспособленность к экстремальному климату и др.

Все это вызывает необходимость исследований качеств животных других пород, оценки перспектив их использования в интенсивном молочном производстве в качестве дополнения или

альтернативы голштинской породе. С этих позиций интерес представляют другие популяции высокопродуктивного молочного скота, в частности финская айрширская. Айрширская порода скота широко известна и популярна в мире из-за высокой продуктивности, особенно жирномолочности, сочетания ценных биологических, технологических, экономических, акклиматизационных и других качеств. Примечательно, что айрширы – одна из немногих пород, которая благодаря своей зоотехнической ценности в России избежала голштинизации.

2. Модернизация пород, стад, выведение новых типов и популяций на основе новых методов селекции, генетики, информатики, информационных технологий.

3. Воспроизводство, оценка, отбор и использование лучших быков высокой племенной ценности. Формирование и развитие на племязаводах быкопроизводящих групп коров с удоем 12–14 тыс. кг молока за лактацию и более.

4. Высокие воспроизводительные качества и длительный срок продуктивного использования коров. Использование пересадки эмбрионов и сексированного семени. Оптимизация процессов воспроизводства и повышение плодовитости животных.

5. Крепкое здоровье и развитая иммунная система животных, здоровые ноги и копыта, высокое качество вымени, резистентность к маститу (не более 150 тыс. соматических клеток в 1 мл молока). Оздоровление стад и профилактика болезней.

6. Хорошая приспособленность к современным технологиям и машинному обслуживанию: доению на высокопроизводительных доильных установках, круглогодичному стойловому групповому беспривязному содержанию и однотипному кормлению, к робототехнике; высокая стрессоустойчивость.

7. Обеспечение эффективной конверсии питательных веществ кормов, управление обменом веществ высокопродуктивных животных.

8. Внедрение индексной селекции. Расширение спектра учитываемых в племенных индексах селекционных признаков до 30–50, как в странах Северной Европы. Увеличение удельного веса в структуре племенной ценности животных показателей экстерьера, здоровья и плодовитости (в западных странах более 60 % против менее 40 % по продуктивным признакам).

9. Использование геномной оценки и селекции, создание ДНК-паспортов животных, генотипирование телок, бычков, матерей быков, быков-производителей, применение генетической характеристики пород, типов, линий животных.

10. Разработка селекционной стратегии повышения экономической эффективности животных на базе индексной селекции путем одновременно улучшения продуктивности, воспроизводства, здоровья, экстерьера. Снижение селекционными приемами затрат по обслуживанию скота, создание и разведение прибыльных коров, повышение их рентабельности.

11. Результатом инновационного селекционного процесса должно быть создание высокопродуктивных конкурентоспособных стад с удоем 8500–9000 кг молока и более от коровы за лактацию, повышение качества и безопасности молока и молочных продуктов.

В Республике Карелия разработаны и на протяжении многих лет реализуются пути инновационного развития племенного молочного животноводства. В этой работе активное участие принимает кафедра зоотехнии, рыбоводства и товароведения агротехнического факультета Петрозаводского государственного университета, которая осуществляет научное обеспечение разработок и внедрения селекционных инноваций. Прежде всего была научно доказана целесообразность разведения в хозяйствах республики айрширской породы скота, в отличие от других регионов страны, где ставка сделана на голштинскую породу.

В настоящее время Карелия – единственный регион в России, в котором айрширы являются основной породой – 96 % общего поголовья скота при 100 %-ной чистопородности. Республика является зоной племенного айрширского скотоводства. В племенных хозяйствах сосредоточено 52,7 % всех айрширов, в том числе на племенных заводах 31,4 %.

Нашими предыдущими исследованиями показано, что айрширы в Карелии и других регионах страны являются надежными носителями селекционных инноваций и конкурентоспособности [14], [15]. Это послужило основанием для постановки и реализации задачи по выведению в Республике Карелия нового типа айрширского скота. В результате многолетних исследований и практической селекции на племенных заводах «Мегрега» и «Ильинское» создан инновационный продукт – тип «Карельский» айрширской породы,

удостоенный патента на селекционное достижение № 6764 с датой приоритета 16.03.2012 года. Численность скота нового типа составляет 3924 головы, в том числе 2365 коров.

Для животных типа характерны обильномолочность (более 8000 кг молока за лактацию), средняя живая масса (550–560 кг), экономичность (более 1400 кг молока на каждые 100 кг живой массы), крепкая конституция, срок продуктивной жизни в среднем более 4,3 лактации, хорошее здоровье, повышенная резистентность к маститу (118–150 тыс. соматических клеток в 1 см<sup>3</sup>), хорошая приспособленность к условиям как привязного, так и беспривязного содержания, пригодность к машинному обслуживанию. По последним данным, на племенном заводе «Ильинское» – оригинаторе нового типа – удой коров за 1-ю лактацию равен 7379 кг молока при суммарной продукции жира и белка 537,2 кг, за 3-ю – 8703 кг и 625,9 кг соответственно (таблица).

На племенном предприятии «Карельское» сформирован достаточно качественный парк айрширских быков со средним удоем у матерей 10496 кг молока при жирности 4,46 % и белка 3,59 %, у матерей отцов – 11294 кг; 4,32 %; 3,40 % соответственно. На двух племенных заводах сформированы быкопроизводящие группы из 40 лучших коров. По данным за 2014 год, их средний удой за лактацию равен 11231 кг молока с жирностью 4,01 %, белковостью 3,22 % и суммарной продукцией жира и белка 812,2 кг. У 127 коров (7 % от общей численности) удой за лактацию превышает 10000 кг молока. Средняя интенсивность молокоотдачи равна 2,27 кг/мин.

Кроме селекционных новаций одновременно внедрены технологические, кормопроизводительные, организационные, управленческие и др. В нескольких крупных хозяйствах («Мегрега», «Ильинское», «Агрокомплекс им. Зайцева») построены комплексы по производству молока на 800 коров в каждом с беспастбищным беспривязным содержанием. Они оборудованы доильными залами фирмы DeLaval «ЕвроПараллель» на 32 коровы с автоматизированной системой управления процессами кормления, доения, уровнем

Показатели продуктивности айрширских коров типа Карельский (племенной завод «Ильинское», 2014 год)

Лактация	Поголовье	Показатели продуктивности коров за 305 дней лактации						Живая масса, кг
		Удой, кг	Жир		Белок		Жир + белок, кг	
			%	кг	%	кг		
1-я	254	7379	4,11	303,3	3,17	233,9	537,2	520
2-я	267	8377	4,08	341,7	3,15	263,9	605,6	528
3-я и старше	353	8703	4,06	352,9	3,14	273,0	625,9	547
Все поголовье	874	8218	4,08	335,0	3,15	258,8	593,8	533

удоя и качества молока, воспроизводства, движения и использования животных, оценки их качеств, учета продукции. На всех операциях используется компьютерная и электронная техника. Внедрены современные методы селекции скота на базе системы «СЕЛЭКС». Каждый оператор машинного доения выдаивает 200 коров вместо 50 до реконструкции ферм, а затраты труда на 1 ц молока снизились с 2,2 до 1,5–1,6 часа.

Модернизированы процессы выращивания кормовых культур и заготовки объемистых кормов на основе использования высокопроизводительной техники, в том числе комбайнов последнего поколения. В расчете на одну корову ежегодно заготавливают более 20 т качественного силоса. Разработаны и применяются система интенсификации кормления животных, однотипные высокоэнергетические рационы кормления коров. Внедрены новые технологии выращивания телят в молочный период с использованием зондов для доставки молозива в пищеварительный тракт и применением клеток особой конструкции из проволоки на глубокой подстилке.

Высокие продуктивные и эксплуатационные качества животных типа «Карельский» обеспечивают приемлемую экономическую эффективность производства молока и племенной продукции даже в условиях высокзатратной экономической среды Европейского Севера. Уровень рентабельности производства молока – в среднем 25–30 %.

Рентабельность выращивания и реализации ремонтных телок и нетелей достигает 55 % и более.

Карельские айрширы являются существенным фактором распространения и развития породы, повышения эффективности молочного животноводства в других регионах страны. Племенные хозяйства Карелии выращивают и продают айрширский молодняк хозяйствам 9 регионов России, более 500 голов ежегодно. За последние 5 лет реализовано около 1700 нетелей, телок и 12 бычков. Все рассмотренные и примененные инновационные методы и приемы обусловили рост за 10-летие (2004–2014 годы) величины удоя за лактацию по всей популяции айрширов в Карелии с 4202 до 6779 кг молока, что примерно на 1500 кг молока больше, чем в среднем по России. По этому показателю Карелия находится в группе лидеров, многие годы стабильно занимая 3–4-е место среди всех регионов России.

Таким образом, разведение айрширского скота в сочетании с внедрением комплекса инновационных технологий обеспечивает рост продуктивности коров, интенсификацию производства молока и племенной продукции, модернизацию и повышение эффективности отрасли молочного скотоводства. Целесообразно увеличить масштабы использования айрширской породы в скотоводстве России, внедрения инвестиционных, селекционных, технологических, организационно-управленческих и других инноваций.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бильков В. А., Шаверина М. В., Медведева Н. А. Инновационные технологии – основа интенсификации молочного скотоводства // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2012. № 5 (23). С. 114–123.
2. Болгов А. Е. Карельский тип айрширского скота: этапы выведения, оценка статуса и пути совершенствования // Перспективы развития айрширской породы скота в России: Сборник научных трудов. Вологда, 2008. С. 32–39.
3. Болгов А. Е. Конкурентоспособность айрширской породы скота при интенсивном молочном производстве // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: Сб. науч. трудов. Вып. 2. Ч. 2. Горки, 2009. С. 338–344.
4. Бышова Н. Г., Туников Г. М., Морозова Н. И., Мусеев Ф. А., Иванова Л. В. Инновационная технология производства молока: Монография. Рязань: РГАУ, 2013. 156 с.
5. Горшков В. В. Инновационные риски. СПб., 1996. 63 с.
6. Законодательная база инновационной деятельности [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gov.karelia.ru/Power/Ministry/Development/inn\\_prav.html](http://www.gov.karelia.ru/Power/Ministry/Development/inn_prav.html) (дата обращения 12.10.2015).
7. Лимонин Д. К. Стратегия развития молочного скотоводства на основе инноваций (на примере сельскохозяйственных предприятий Саратовской области): Автореф. дисс. ... канд. экон. наук. Саратов, 2014. 23 с.
8. Мовсеева Н. В. Теоретические и практические аспекты понятия «инновация» // Рыбная промышленность. 2011. № 2. С. 17–19.
9. Петров Е. А., Семин А. Н. Формирование инновационной системы в российском молочном животноводстве // Известия УрГЭУ. 2014. № 5 (55). С. 77–84.
10. Сафиуллин Н. А., Каримова Р. Р. Особенности управления инвестиционно-инновационной деятельностью в молочном скотоводстве // Вестник Казанского университета. 2011. Т. 20. № 2. С. 55–57.
11. Файзрахманов Д. И., Нуртдинов М. Г., Хайруллин А. Н. и др. Организация молочного скотоводства на основе технологических инноваций // Международный журнал экспериментального образования. 2012. № 2. С. 52–54.
12. Фомин О. С., Бордюков Г. И. Инновационное развитие молочного скотоводства в Курской области // Креативная экономика. 2009. № 8 (32). С. 75–79.
13. Хотьшева О. М. Инновационный менеджмент. СПб.: Питер, 2005. 439 с.
14. Шагдурова Э. А. Инновации как фактор повышения эффективности молочного скотоводства // Проблемы современной аграрной науки: Материалы международной заочной научной конференции. Красноярский государственный

аграрный университет. 15 октября 2011 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kgau.ru/new/all/konferenc/04/> (дата обращения 12.10.2015).

15. Шумпетер И. А. Теория экономического развития (исследование предпринимательской прибыли, капитала, процента и цикла конъюнктуры). М.: Прогресс, 1982. 455 с.

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

## BIOLOGICAL, SELECTIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS OF INNOVATIONS' USAGE IN DAIRY CATTLE BREEDING

Scientific and applied problems of innovations' employment in dairy cattle breeding are not sufficiently studied. The purpose of the work was to investigate the main factors of the use and possible improvement of innovations utilized by Karelian breeding farms in milk production. The structure of innovations is also studied. Scientific interpretation of the innovation concept is presented, identification signs by which the innovations in focus differ from other innovations are considered. The analysis of options and types of the existing and applied innovations is given. In addition, it is offered to differentiate selection innovations, which are directed at the modernization and development of the subject of breeding production – the animals (cows, bulls, young growth) because they have fundamental value for the successful realization of other types of innovations. The structure of selection innovations, including 11 elements and modern methods of improvement of dairy animals and herds, is offered. The experience of innovative development of dairy animal breeding in the Republic of Karelia, the use of Ayrshire cattle breed as a reliable carrier of selection innovations and their competitiveness are considered. Characteristic features of the created innovative product are provided: a type of Karelian Ayrshire breed characterized by high milk productivity from the first lactation – 7379 kg of milk with the total production of fat and protein of 537,2 kg, and from the third lactation – 8703 kg and 625,9 kg respectively. For the period of 10 years (2004–2014) the milk yield in Karelian Ayrshire population increased from 4202 kg to 6779 kg of milk. Therefore, the introduction of breeding innovations in the herds of Ayrshire cattle as well as breeding of the new types of dairy cattle are instrumental in the enhancement of the level of cows' productivity, modernization, and increase of the dairy husbandry efficiency.

Key words: innovations, breeding innovations, dairy cattle breeding, Ayrshire breed, breeding plants, type “Karelian”

### REFERENCES

1. Bil'kov V. A., Shaverina M. V., Medvedeva N. A. Innovative technology – the basis of intensification of dairy farming [Innovatsionnye tekhnologii – osnova intensivatsii molochnogo skotovodstva]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*. 2012. № 5 (23). P. 114–123.
2. Bolgov A. E. Karelian type of Ayrshire cattle: the stages of elimination, status assessment and ways of improvement [Karel'skiy tip ayrshirskogo skota: etapy vyvedeniya, otsenka statusa i puti sovershenstvovaniya]. *Perspektivy razvitiya ayrshirskoy porody skota v Rossii: Sbornik nauchnykh trudov*. Vologda, 2008. P. 32–39.
3. Bolgov A. E. Competitiveness of the Ayrshire breed of cattle under intensive dairy production [Konkurentosposobnost' ayrshirskoy porody skota pri intensivnom molochnom proizvodstve]. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zivotnovodstva: Sbornik nauchnykh trudov*. Issue 2. Part 2. 2009. Gorki, 2009. P. 338–344.
4. Byshova N. G., Tunikov G. M., Morozova N. I., Musaev F. A., Ivanova L. V. *Innovatsionnaya tekhnologiya proizvodstva moloka: Monografiya* [The innovative technology of milk production: Monograph]. Ryazan, 2013. 156 p.
5. Gorshkov V. V. *Innovatsionnye riski* [Innovation risks]. St. Petersburg, 1996. 63 p.
6. *Zakonodatel'naya baza innovatsionnoy deyatel'nosti* [The legal framework of innovation]. Available at: [http://www.gov.karelia.ru/Power/Ministry/Development/inn\\_prav.html](http://www.gov.karelia.ru/Power/Ministry/Development/inn_prav.html)
7. Limonin D. K. *Strategiya razvitiya molochnogo skotovodstva na osnove innovatsiy (na primere sel'skokhozyaystvennykh predpriyatii Saratovskoy oblasti): Avtoref. diss. ... kand. ekon. nauk* [The development strategy of dairy cattle on the basis of innovation (on the example of the agricultural enterprises of the Saratov region)]. Saratov, 2014. 23 p.
8. Movseva N. V. Theoretical and practical aspects of the concept of “innovation” [Teoreticheskie i prakticheskie aspekty ponyatiya “innovatsiya”]. *Rybnaya promyshlennost'*. 2011. № 2. P. 17–19.
9. Petrov E. A., Semin A. N. Formation of innovative system in the Russian dairy farming [Formirovanie innovatsionnoy sistemy v rossiyskom molochnom zivotnovodstve]. *Izvestiya UrGEU*. 2014. № 5 (55). P. 77–84.
10. Safiullin N. A., Karimova R. R. Features of investment innovation management in dairy farming [Osobennosti upravleniya investitsionno-innovatsionnoy deyatel'nost'yu v molochnom skotovodstve]. *Vestnik Kazanskogo universiteta*. 2011. Vol. 20. № 2. P. 55–57.
11. Fayzrahmanov D. I., Nurtdinov M. G., Khayrullin A. N. i dr. Organization of dairy cattle on the basis of technological innovation [Organizatsiya molochnogo skotovodstva na osnove tekhnologicheskikh innovatsiy]. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2012. № 2. P. 52–54.
12. Fomin O. S., Bordukov G. I. Innovative development of dairy farming in Kursk region [Innovatsionnoe razvitie molochnogo skotovodstva v Kurskoy oblasti]. *Kreativnaya ekonomika*. 2009. № 8 (32). P. 75–79.
13. Hotyashova O. M. *Innovatsionnyy menedzhment* [Innovation management]. St. Petersburg, Piter Publ., 2005. 439 p.
14. Shagdurova E. A. Innovation as a factor in efficiency increase of dairy cattle breeding [Innovatsii kak faktor povysheniya effektivnosti molochnogo skotovodstva]. *Problemy sovremennoy agrarnoy nauki: Materialy mezhdunarodnoy zaochnoy nauchnoy konferentsii. Krasnoyarskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 15 oktyabrya 2011 g.* Available at: <http://www.kgau.ru/new/all/konferenc/04/>
15. Shumpeter Y. A. *Teoriya ekonomicheskogo razvitiya (issledovanie predprinimatel'skoy pribyli, kapitala, protsenta i tsikla kon'yunktury)* [Theory of Economic Development (the study of business profits, capital interest and cycle conditions)]. Moscow, Progress Publ., 1982. 455 p.

Поступила в редакцию 11.11.2015

**ЗИНАИДА ПЕТРОВНА КОТОВА**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, Карельская государственная сельскохозяйственная опытная станция (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*zinaida\_kotova@mail.ru*

**ГАЛИНА ВЛАДИМИРОВНА ЕВСЕЕВА**

старший научный сотрудник отдела кормопроизводства, Карельская государственная сельскохозяйственная опытная станция (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*gvevseeval2@mail.ru*

**СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ СМИРНОВ**

заведующий отделом кормопроизводства, Карельская государственная сельскохозяйственная опытная станция (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*sergej-smirnov-58@mail.ru*

**ЛЮБОВЬ ПАВЛОВНА ЕВСТРАТОВА**

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

**АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОВ**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории вероятностей и анализа данных математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*arogov@sampo.ru*

**ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА КЛЮКИНА**

кандидат технических наук, доцент кафедры теории вероятностей и анализа данных математического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*elena\_k\_79@mail.ru*

## ПРОДУКТИВНОЕ ДОЛГОЛЕТИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ В УСЛОВИЯХ КАРЕЛИИ

Представлены результаты исследования продуктивного долголетия двух- и трехкомпонентных злаковых многолетних травосмесей для пастбищного использования в южной Карелии (2006–2013 годы). В качестве контроля применена наиболее часто используемая в условиях Карелии травосмесь, состоящая из тимофеевки луговой и овсяницы луговой. По результатам изучения 11 вариантов злаковых многолетних травосмесей по двум количественным (урожайность зеленой массы, сухого вещества) и трем качественным (содержание кормовых единиц, обменной энергии и сырого протеина) показателям выделены наиболее устойчивые травосмеси к местным экологическим условиям. Проведенный анализ показал, что в условиях южной Карелии на дерново-подзолистых суглинистых почвах для пастбищного использования наибольшее продуктивное долголетие обеспечивают рыхлокустовые злаки – ежа сборная, тимофеевка луговая и овсяница луговая в сочетании с корневищными злаками – кострцом безостым и мятликом луговым. Вышеуказанные виды в изменяющихся условиях внешней среды сохраняют наибольшую продуктивность, что свидетельствует об их высоком адаптационном потенциале.

Ключевые слова: многолетние злаковые кормовые травы, двух- и трехкомпонентные травосмеси, пастбищное использование, урожайность, продуктивное долголетие, иерархический кластерный анализ

### ВВЕДЕНИЕ

Развитие отрасли животноводства напрямую связано с созданием прочной кормовой базы. В условиях Карелии основу кормопроизводства составляют многолетние травы, успешное возделывание которых определяется оптимальным сочетанием видов растений в травосмесях, обес-

печивающих высокую урожайность и питательность зеленой массы. При формировании долгосрочных фитоценозов перспективно включать в состав травосмесей корневищные злаковые травы – мятлик луговой и костреч безостый [5], однако представляют интерес их сочетания как с традиционными (ежа сборная, тимофеевка

луговая, овсяница луговая), так и интродуцированными (райграс пастбищный и фестулолиум) видами.

Цель настоящей работы – изучить продуктивное долголетие злаковых многолетних травосмесей для пастбищного использования и выделить среди них наиболее адаптированные к местным условиям.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2006–2013 годах на базе Карельской государственной сельскохозяйственной опытной станции, расположенной в южной агроклиматической зоне Карелии. Опыт был заложен на дерново-подзолистых суглинистых почвах. Изучали 11 вариантов двух- и трехкомпонентных злаковых многолетних травосмесей с участием тимофеевки луговой сорта Олонекская местная, овсяницы луговой Суйдинская, райграса пастбищного Дуэт, фестулолиума ВИК-90, мятлика лугового Дар, костреца безостого Факельный, ежи сборной Нева. Каждый вариант травосмесей был представлен в 4-кратной повторности. Контроль – наиболее часто используемая в условиях Карелии травосмесь тимофеевки луговой и овсяницы луговой.

В течение вегетационного периода проводили 3 укоса, в каждом из которых эффективность выращивания многолетних травосмесей учитывали по ряду показателей: количественных (урожайность зеленой массы, сухого вещества) и качественных (содержание кормовых единиц, обменной энергии и сырого протеина).

Годы эксперимента отличались неоднородностью метеорологических показателей: в первый год жизни злаковых трав условия влаго- и теплообеспеченности были удовлетворительными, а в последующие годы пользования трав – благоприятными для роста и развития растений.

Для изученных пяти показателей вычисляли средние величины как  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее значение,  $m$  – стандартная ошибка среднего [1; 11–12], [2; 160–162]. Расчет средних значений каждого из пяти показателей у отдельного варианта травосмесей осуществляли за первый – третий укосы и за все три укоса.

Большое число вариантов опыта затрудняло анализ экспериментальных данных, поэтому для группировки травосмесей по однородности количественных и качественных характеристик был привлечен иерархический кластерный анализ [3; 214–222], [4; 55–60] для их средних значений (метод групповой средней (Group Average Method)), в качестве меры сходства (Squared Euclidean) – квадратичная евклидова мера. При этом объекты кластеризации – номера вариантов травосмесей

(1...11), переменные (признаки) – показатели урожайности зеленой массы, сухого вещества, содержания кормовых единиц, обменной энергии и сырого протеина.

Выполнение работ осуществляли на основе ряда методик [6], [7], [8], [9]. Статистическую обработку данных, построение таблиц и графиков проводили на персональном компьютере с использованием стандартного программного пакета Excel и компьютерной программы StatGraphics Centurion XV.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ многолетних данных показал (табл. 1), что в первом укосе максимальные средние значения по всем изученным показателям получены наряду с контрольным вариантом 1 (timoфеевка луговая + овсяница луговая) у двухкомпонентной травосмеси с участием верховых злаков – тимофеевки луговой и костреца безостого (вариант 5) и трехкомпонентной травосмеси, составленной из видового состава контроля с добавлением низового злака мятлика лугового (вариант 2).

Ко второму укосу (табл. 2) по большинству показателей лучше всего проявили себя рыхлокустовые злаки. Травосмеси основаны на видовом составе контроля с добавлением низового компонента мятлика лугового (вариант 2), а также райграса пастбищного (вариант 3). Наряду с ними также выделились варианты 9...11, включающие в качестве основного вида ежу сборную с райграсом пастбищным, или фестулолиумом, или мятликом луговым. В северных условиях райграс пастбищный и фестулолиум сохраняются в травостое на протяжении лишь двух – трех лет, а в дальнейшем заменяются внедрившимися видами и разнотравьем.

Выявленная тенденция во втором укосе в основном сохранилась и в третьем укосе (табл. 3).

В целом за семь лет изучения (табл. 4) наибольшие средние значения урожайности и качественных показателей травостоев за три укоса выявлены в вариантах травосмесей 2, 3, 9, состоящих из рыхлокустовых злаков – тимофеевки луговой, овсяницы луговой, райграса пастбищного, ежи сборной, а также мятлика лугового, занимающего промежуточное положение между рыхлокустовыми и корневищными злаковыми травами.

Группировку многолетних злаковых травосмесей для выявления вариантов, однородных по пяти вышеуказанным характеристикам как по каждому укосу, так и за три укоса в целом, провели с привлечением иерархического кластерного анализа. Результаты этого анализа на основе

**Таблица 1**  
Зависимость количественных и качественных показателей от видового состава травосмесей (1-й укос, 2007–2013 годы)

№ п/п	Варианты опыта	Урожайность, т/га		Качественные характеристики зеленой массы		
		зеленой массы	сухого вещества	содержание		
				кормовых единиц, т/га	обменной энергии, ГДж/га	сырого протеина, т/га
1	Тимофеевка луговая + овсяница луговая (контроль)	19,27 ± 0,9	3,84 ± 0,2	3,29 ± 0,1	39,45 ± 1,7	0,53 ± 0,0
2	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + мятлик луговой	19,09 ± 0,9	3,74 ± 0,2	3,21 ± 0,1	38,46 ± 1,7	0,58 ± 0,0
3	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + райграс пастбищный	17,19 ± 0,9	3,47 ± 0,2	3,04 ± 0,2	36,29 ± 2,0	0,50 ± 0,0
4	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + фестулолиум	17,6 ± 1,0	3,29 ± 0,2	2,97 ± 0,1	34,73 ± 1,7	0,49 ± 0,0
5	Тимофеевка луговая + кострец безостый	21,56 ± 1,0	4,07 ± 0,2	3,52 ± 0,1	41,99 ± 1,8	0,56 ± 0,0
6	Тимофеевка луговая + кострец безостый + райграс пастбищный	18,30 ± 1,3	3,42 ± 0,2	3,04 ± 0,2	35,74 ± 2,0	0,49 ± 0,0
7	Тимофеевка луговая + кострец безостый + фестулолиум	16,97 ± 1,0	3,15 ± 0,2	2,80 ± 0,2	32,97 ± 2,1	0,44 ± 0,0
8	Ежа сборная + овсяница луговая	19,25 ± 0,7	3,40 ± 0,2	2,94 ± 0,2	35,14 ± 1,9	0,52 ± 0,0
9	Ежа сборная + райграс пастбищный	17,81 ± 1,0	3,23 ± 0,2	2,85 ± 0,2	33,67 ± 2,1	0,52 ± 0,0
10	Ежа сборная + фестулолиум	18,41 ± 0,9	3,17 ± 0,2	2,75 ± 0,1	32,78 ± 1,7	0,48 ± 0,0
11	Ежа сборная + мятлик луговой	17,85 ± 0,6	3,36 ± 0,2	2,89 ± 0,1	34,66 ± 1,5	0,51 ± 0,0

**Таблица 2**  
Зависимость количественных и качественных показателей от видового состава травосмесей (2-й укос, 2007–2013 годы)

№ п/п	Варианты опыта	Урожайность, т/га		Качественные характеристики зеленой массы		
		зеленой массы	сухого вещества	содержание		
				кормовых единиц, т/га	обменной энергии, ГДж/га	сырого протеина, т/га
1	Тимофеевка луговая + овсяница луговая	12,23 ± 0,8	2,68 ± 0,2	2,30 ± 0,2	26,91 ± 1,6	0,36 ± 0,0
2	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + мятлик луговой	11,99 ± 0,9	3,10 ± 0,1	2,54 ± 0,1	30,73 ± 1,3	0,41 ± 0,0
3	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + райграс пастбищный	13,50 ± 1,2	3,80 ± 0,4	2,55 ± 0,2	31,06 ± 2,8	0,40 ± 0,0
4	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + фестулолиум	13,21 ± 1,2	2,93 ± 0,2	2,48 ± 0,2	29,86 ± 2,1	0,39 ± 0,0
5	Тимофеевка луговая + кострец безостый	12,74 ± 1,1	2,71 ± 0,2	2,25 ± 0,1	27,47 ± 1,8	0,37 ± 0,0
6	Тимофеевка луговая + кострец безостый + райграс пастбищный	13,74 ± 1,3	2,90 ± 0,2	2,41 ± 0,2	29,28 ± 2,5	0,38 ± 0,0
7	Тимофеевка луговая + кострец безостый + фестулолиум	13,84 ± 1,0	2,95 ± 0,2	2,46 ± 0,1	29,88 ± 1,7	0,38 ± 0,0
8	Ежа сборная + овсяница луговая	11,24 ± 1,1	2,69 ± 0,2	2,17 ± 0,1	26,90 ± 1,7	0,39 ± 0,0
9	Ежа сборная + райграс пастбищный	13,95 ± 0,9	2,98 ± 0,2	2,43 ± 0,2	29,83 ± 1,9	0,43 ± 0,0
10	Ежа сборная + фестулолиум	14,02 ± 1,1	2,90 ± 0,2	2,41 ± 0,2	29,33 ± 2,1	0,42 ± 0,0
11	Ежа сборная + мятлик луговой	12,77 ± 0,6	2,91 ± 0,1	2,37 ± 0,1	29,00 ± 1,0	0,40 ± 0,0

средних значений показателей представлены на дендрограмме (рисунок).

Для определения оптимального числа кластеров предварительно были получены и проанализированы таблицы агломерации. Так, согласно таблице агломерации для первого укоса по пяти переменным, выявлен скачок в столбце «Рассто-

яние» после 9-го шага, поэтому оптимальное число кластеров равно  $N - k = 2$ , где  $N = 11$  – число вариантов,  $k = 9$  – номер шага, после которого произошел скачок. Таким образом, были получены следующие кластеры: первый кластер объединил варианты 1, 2, 5, второй – 3, 4, 6–11. Полученные результаты группировки, согласующиеся с

Таблица 3

Зависимость количественных и качественных показателей от видового состава травосмесей (3-й укос, 2007–2013 годы)

№ п/п	Варианты опыта	Урожайность, т/га		Качественные характеристики зеленой массы		
		зеленой массы	сухого вещества	содержание		
				кормовых единиц, т/га	обменной энергии, ГДж/га	сырого протеина, т/га
1	Тимофеевка луговая + овсяница луговая	11,38 ± 0,5	2,3 ± 0,1	1,95 ± 0,1	23,53 ± 0,9	0,32 ± 0,0
2	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + мятлик луговой	11,21 ± 0,5	2,77 ± 0,1	2,14 ± 0,1	27 ± 0,8	0,37 ± 0,0
3	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + райграс пастбищный	12,00 ± 0,5	2,42 ± 0,1	2,03 ± 0,1	24,6 ± 0,9	0,32 ± 0,0
4	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + фестулолиум	11,39 ± 0,6	2,29 ± 0,1	1,86 ± 0,1	22,9 ± 1,1	0,31 ± 0,0
5	Тимофеевка луговая + кострец безостый	11,01 ± 0,8	2,05 ± 0,1	1,66 ± 0,1	20,47 ± 1,4	0,29 ± 0,0
6	Тимофеевка луговая + кострец безостый + райграс пастбищный	12,86 ± 0,7	2,38 ± 0,1	1,98 ± 0,1	24,06 ± 1	0,33 ± 0,0
7	Тимофеевка луговая + кострец безостый + фестулолиум	12,94 ± 0,7	2,31 ± 0,1	1,92 ± 0,1	23,38 ± 1	0,34 ± 0,0
8	Ежа сборная + овсяница луговая	12,15 ± 0,7	2,41 ± 0,1	1,83 ± 0,1	23,32 ± 1,2	0,34 ± 0,0
9	Ежа сборная + райграс пастбищный	12,98 ± 0,7	2,52 ± 0,1	1,94 ± 0,1	24,58 ± 1,1	0,34 ± 0,0
10	Ежа сборная + фестулолиум	12,01 ± 0,7	2,40 ± 0,1	1,82 ± 0,1	23,21 ± 1,1	0,34 ± 0,0
11	Ежа сборная + мятлик луговой	11,74 ± 0,6	2,42 ± 0,1	1,80 ± 0,1	23,20 ± 0,8	0,32 ± 0,0

Таблица 4

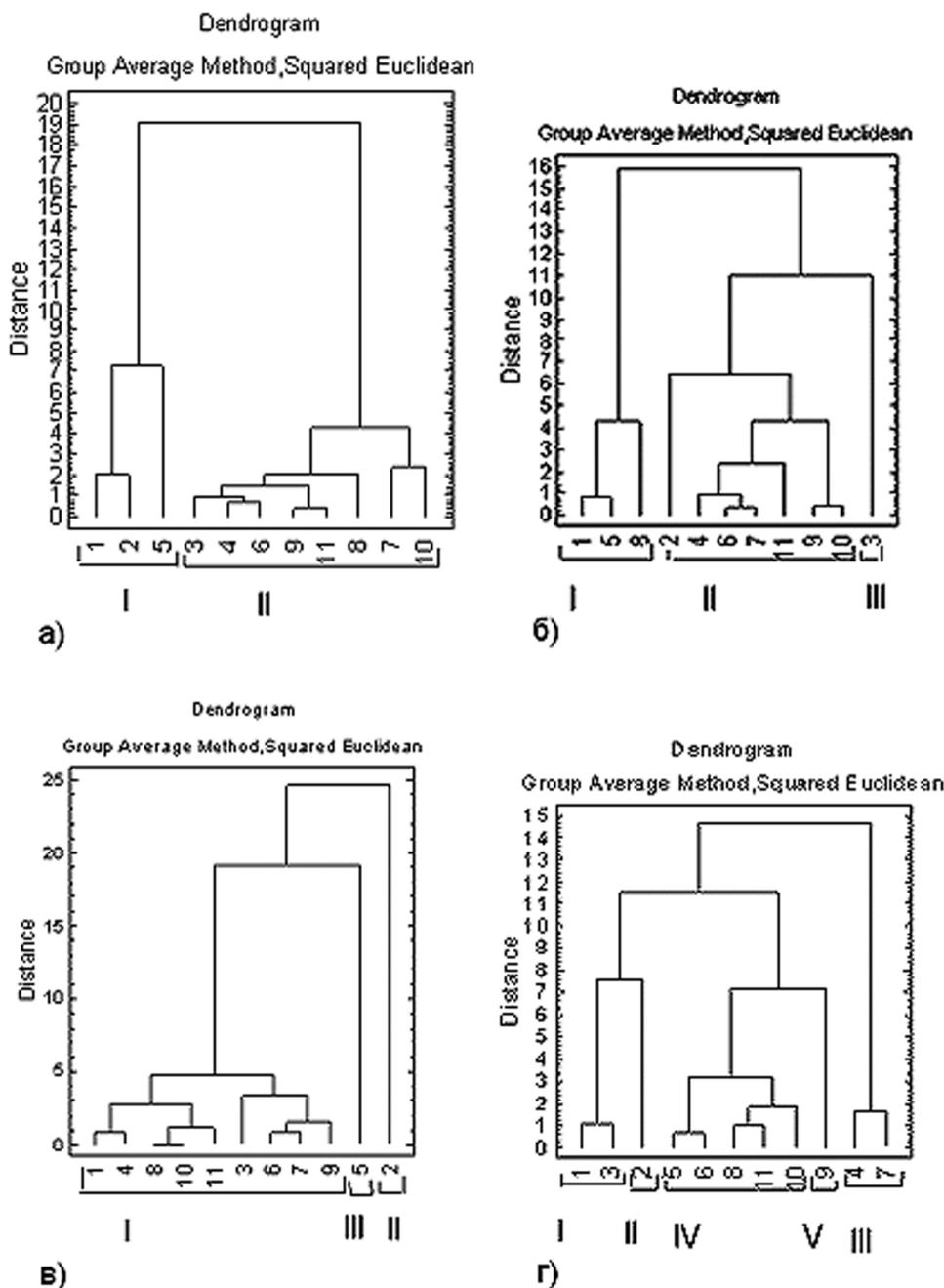
Зависимость количественных и качественных показателей от видового состава травосмесей (три укоса, 2007–2013 годы)

№ п/п	Варианты опыта	Урожайность, т/га		Качественные характеристики зеленой массы		
		зеленой массы	сухого вещества	содержание		
				кормовых единиц, т/га	обменной энергии, ГДж/га	сырого протеина, т/га
1	Тимофеевка луговая + овсяница луговая	38,40 ± 3,3	7,9 ± 0,7	6,71 ± 0,6	80,19 ± 6,8	1,04 ± 0,1
2	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + мятлик луговой	37,30 ± 3,3	8,36 ± 0,7	6,85 ± 0,6	83,52 ± 6,9	1,14 ± 0,1
3	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + райграс пастбищный	38,23 ± 3,4	8,02 ± 0,7	6,77 ± 0,6	82,09 ± 7,2	1,05 ± 0,1
4	Тимофеевка луговая + овсяница луговая + фестулолиум	37,20 ± 3,4	7,47 ± 0,6	6,38 ± 0,6	76,69 ± 6,6	1,00 ± 0,1
5	Тимофеевка луговая + кострец безостый	39,91 ± 3,7	7,75 ± 0,7	6,49 ± 0,6	78,65 ± 6,8	1,04 ± 0,1
6	Тимофеевка луговая + кострец безостый + райграс пастбищный	39,97 ± 3,8	7,74 ± 0,7	6,57 ± 0,6	80,01 ± 6,9	1,05 ± 0,1
7	Тимофеевка луговая + кострец безостый + фестулолиум	38,83 ± 3,5	7,44 ± 0,6	6,35 ± 0,5	76,30 ± 6,5	1,02 ± 0,1
8	Ежа сборная + овсяница луговая	40,31 ± 3,5	7,87 ± 0,7	6,43 ± 0,5	79,00 ± 6,6	1,13 ± 0,1
9	Ежа сборная + райграс пастбищный	41,17 ± 3,6	8,06 ± 0,7	6,64 ± 0,6	81,18 ± 6,7	1,17 ± 0,1
10	Ежа сборная + фестулолиум	40,70 ± 3,5	7,71 ± 0,6	6,34 ± 0,5	77,73 ± 6,5	1,11 ± 0,1
11	Ежа сборная + мятлик луговой	39,08 ± 3,3	7,91 ± 0,6	6,4 ± 0,5	79,11 ± 6,4	1,11 ± 0,1

данными табл. 1, свидетельствуют о максимальной продуктивности травостоев с участием тимофеевки луговой, овсяницы луговой, а также с добавлением к этой травосмеси мятлика лугового и комбинации тимофеевки луговой с кострцом безостым.

На основе аналогичного анализа таблицы агломерации для второго укоса выявлено опти-

мальное число кластеров – три. Первый кластер составили варианты 1, 5, 8, второй – 2, 4, 6, 7, 9, 10, 11, третий кластер представлен вариантом 3. По однородности изученных показателей близки к контролю варианты с участием тимофеевки луговой и кострца безостого, а также ежи сборной и овсяницы луговой. На фоне их средних значений урожайности и качественных характерис-



Дендрограммы для первого, второго, третьего и всех трех укосов по пяти показателям (а, б, в, г соответственно)

тик вариант 3, состоящий из тимофеевки луговой, овсяницы луговой, райграса пастбищного, выделился высокими значениями по всем пяти переменным (см. табл. 2).

Данные таблицы агломерации для третьего укоса свидетельствуют о наличии трех кластеров. Первый кластер объединил варианты 1, 3, 4, 6–11, второй кластер составил вариант 2, третий – вариант 5. Травосмесь с участием тимофеевки луговой, овсяницы луговой и мятлика лугового (вариант 2) имеет максимальные средние показате-

ли за исключением урожайности зеленой массы, а тимофеевки луговой и кострца безостого (вариант 5), наоборот, наименьшими значениями по всем пяти переменным. Остальные девять вариантов, однородные по пяти показателям, занимают промежуточное положение.

Анализ таблицы агломерации по средним значениям за все три укоса показал, что оптимальным числом кластеров является пять: первый кластер объединил варианты 1, 3, второй составил вариант 2, третий кластер состоял из

Таблица 5

## Кластерные центры окончательного решения (центроиды)

№ укоса	№ кластера	Номера вариантов, входящих в кластер	Урожайность, т/га		Качественные характеристики зеленой массы		
			зеленой массы	сухого вещества	содержание		
					кормовых единиц, т/га	обменной энергии, ГДж/га	сырого протеина, т/га
За все 3 укоса	5	9	41,17	8,06	6,64	81,18	1,17
	1	1, 3	38,32	7,96	6,74	81,14	1,05
	2	2	37,30	8,36	6,85	83,52	1,14
	4	5, 6, 8, 10, 11	39,99	7,80	6,45	78,90	1,09
	3	4, 7	38,02	7,46	6,37	76,50	1,01
1-й укос	1	1, 2, 5	19,97	3,88	3,34	39,97	0,56
	2	3, 4, 6–11	17,92	3,31	2,91	34,50	0,49
2-й укос	3	3	13,50	3,80	2,55	31,06	0,40
	2	2, 4, 6, 9, 10, 11	13,36	2,95	2,44	29,70	0,40
	1	1, 5, 8	12,07	2,69	2,24	27,09	0,37
3-й укос	2	2	11,21	2,77	2,14	27,00	0,37
	1	1, 3, 4, 6–11	12,16	2,38	1,90	23,64	0,33
	3	5	11,01	2,05	1,66	20,47	0,29

Примечание. 1-й вариант – тимофеевка луговая + овсяница луговая; 2-й – тимофеевка луговая + овсяница луговая + мятлик луговой; 3-й – тимофеевка луговая + овсяница луговая + райграсс пастбищный; 4-й – тимофеевка луговая + овсяница луговая + фестулолиум; 5-й – тимофеевка луговая + кострец безостый; 6-й – тимофеевка луговая + кострец безостый + райграсс пастбищный; 7-й – тимофеевка луговая + кострец безостый + фестулолиум; 8-й – ежа сборная + овсяница луговая; 9-й – ежа сборная + райграсс пастбищный; 10-й – ежа сборная + фестулолиум; 11-й – ежа сборная + мятлик луговой.

вариантов 4, 7, четвертый – 5, 6, 8, 10, 11, пятый кластер включил лишь вариант 9. На фоне промежуточных средних значений показателей выделились варианты пятого и третьего кластеров. Пятый кластер, состоящий из ежи сборной и райграсса пастбищного, имел высокие показатели по всем пяти переменным. Для вариантов третьего кластера, включающих наряду с тимофеевкой луговой и фестулолиумом овсяницу луговую или кострец безостый, свойственны наиболее низкие средние значения по всем изученным переменным.

Для подтверждения вышепредставленных данных по продуктивному долголетию злаковых многолетних травосмесей были установлены кластерные центры окончательных решений (центроиды), которые представлены в табл. 5. Номера кластеров для всех трех укосов, а также для каждого укоса в отдельности приведены в данной таблице в порядке убывания значений их центров по совокупности показателей. Так, для всех трех укосов наивысшую позицию занимает пятый кластер, состоящий из варианта 9 (ежа сборная + овсяница луговая) с высокими значениями урожайности и качественных показателей. Для первого укоса первый кластер, включающий варианты 1 (тимофеевка луговая + овсяница луговая), 2 (тимофеевка луговая + овся-

ница луговая + мятлик луговой) и 5 (тимофеевка луговая + кострец безостый), занимает первую строку, так как имеет самые высокие значения по пяти переменным. При ранжировании данных второго укоса на первом месте оказался третий кластер, состоящий из варианта 3 (тимофеевка луговая + овсяница луговая + райграсс пастбищный) с наиболее высокими значениями урожайности и продуктивности. Что касается третьего укоса, то ведущую позицию занял второй кластер, представленный вариантом 2 (тимофеевка луговая + овсяница луговая + мятлик луговой) с максимальными значениями центроидов по всем показателям, кроме урожайности зеленой массы.

Таким образом, анализ урожайности и качественных характеристик получаемого корма из многолетних злаковых трав в условиях южной Карелии на дерново-подзолистых суглинистых почвах показал, что для пастбищного использования наибольшее продуктивное долголетие обеспечивают рыхлокустовые злаки – ежа сборная, тимофеевка луговая и овсяница луговая в сочетании с корневищными злаками – кострцом безостым и мятликом луговым. В изменяющихся условиях внешней среды вышеуказанные виды сохраняют наибольшую продуктивность, что свидетельствует об их высоком адаптационном потенциале.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 425 с.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агрпромиздат, 1985. 351 с.
3. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. 302 с.
4. Коросов А. В., Горбач В. В. Компьютерная обработка данных: Метод. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2007. 76 с.
5. Котова З. П., Евсеева Г. В., Смирнов С. Н. Динамика формирования пастбищных травостоев в условиях Республики Карелия // Кормопроизводство. 2014. № 6. С. 9–12.
6. Методические указания по проведению научных исследований на сенокосах и пастбищах. М.: Россельхозакадемия, 1996. 152 с.
7. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: Россельхозакадемия, 1997. 156 с.
8. Методическое руководство по оценке потоков энергии в луговых агроэкосистемах / Под ред. А. А. Кутузовой, Л. С. Трофимовой. М.: Россельхозакадемия, 2007. 39 с.
9. Программа и методика проведения научных исследований по луговодству. М.: Россельхозакадемия, ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса, 2000. 86 с.

**Kotova Z. P.**, Karelia State Agricultural Experimental Station (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Evseeva G. V.**, Karelia State Agricultural Experimental Station (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Smirnov S. N.**, Karelia State Agricultural Experimental Station (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Evstratova L. P.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Rogov A. A.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Klyukina E. A.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

### PRODUCTIVE LONGEVITY ANALYSIS OF PERENNIAL GRASS MIXTURES GROWING IN KARELIA

The results of the study on productive longevity of two-component and three-component mixtures of perennial grass used for pastoral purposes and found in the southern part of the Republic of Karelia (2006–2013) are presented in this article. A mixture consisting of timothy and meadow fescue was employed for the purpose of control. It is the most common method applied in conditions of Karelia. The study of 11 different perennial plants' mixtures by two quantitative (productivity of green mass, dry matter) and three qualitative (content of feed units, metabolizable energy and crude protein) performance indexes helped to identify the most stable mixtures to the local environmental conditions. The analysis showed that in the southern part of Karelia plants growing on sod-podzolic loamy soils for pastoral use are characterized by strong longevity. The notable productive longevity of the plants is provided by cereals – orchard grass, timothy and meadow fescue in conjunction with rhizomatous grasses – brome and Kentucky bluegrass. The above-mentioned species maintain their high productivity even in conditions of changing environment, which testifies of their high adaptive potential.

Key words: perennial grass plants, two- and three-component mixtures, pasture utilization, productivity, productive longevity, hierarchical cluster analysis

## REFERENCES

1. Zaytsev G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 425 p.
2. Dospikhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniya)* [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 351 p.
3. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Vvedenie v kolichestvennyuyu biologiyu: Uchebnoe posobie* [Introduction to quantitative biology: Study guide]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2011. 302 p.
4. Korosov A. V., Gorbach V. V. *Komp'yuternaya obrabotka dannykh: Metodicheskoe posobie* [Computerized data processing: Methodical manual]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2007. 76 p.
5. Kotova Z. P., Evseeva G. V., Smirnov S. N. Dynamics of formation of pasture herbage in the conditions of the Republic of Karelia [Dinamika formirovaniya pastbishchnykh travostoev v usloviyakh Respubliki Kareliya]. *Kormoproizvodstvo*. 2014. № 6. P. 9–12.
6. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu nauchnykh issledovaniy na senokosakh i pastbishchakh* [Methodical instructions on conducting research on the hayfields and pastures]. Moscow, Russian Agricultural Academy Publ., 1996. 152 p.
7. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami* [Methodological guidelines for conducting field experiments with forage crops]. Moscow, Russian Agricultural Academy Publ., 1997. 156 p.
8. *Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke potokov energii v lugovykh agroekosistemakh* [Methodical guidance on evaluation of energy flows in grassland agroecosystems] / Edited by A. A. Kutuzova, L. S. Trofimova. Moscow, Russian Agricultural Academy Publ., 2007. 39 p.
9. *Programma i metodika provedeniya nauchnykh issledovaniy po lugovodstvu* [Program and methodology of scientific research in meadows]. Moscow, 2000. 86 p.

Поступила в редакцию 22.10.2015

**СВЕТЛАНА ВЛАДИМИРОВНА МАТРОСОВА**

аспирант кафедры зоотехнии, рыбоводства и товароведения агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*matrosovasv@yandex.ru*

**НИКОЛАЙ ВИКТОРОВИЧ ИЛЬМАСТ**

доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

*ilmast@mail.ru*

**МАРИНА ЭНСИОВНА ХУОБОНЕН**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоотехнии, рыбоводства и товароведения агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*marinex704@yandex.ru*

**МАРИЯ СЕРГЕЕВНА БОМБИНА**

аспирант кафедры зоотехнии, рыбоводства и товароведения агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*mashka04081990@mail.ru*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ РАДУЖНОЙ ФОРЕЛИ В УСЛОВИЯХ САДКОВОГО ХОЗЯЙСТВА\*

Приводятся материалы по эффективности выращивания радужной форели, поступившей в форелевое хозяйство на озере Святозеро (Пряжинский район, Республика Карелия) в разные сезоны года. Показано, что закупка посадочного материала осенью и зимовка его в условиях садкового хозяйства позволяют получить более адаптированную к дальнейшему выращиванию рыбу. Анализ данных свидетельствует, что в условиях конкретного хозяйства необходимо учитывать все факторы и планировать завоз молоди в оптимальные сроки для получения достаточного количества товарной продукции.

Ключевые слова: аквакультура, садковое рыбоводство, радужная форель, весовой рост

Сокращение запасов и резкое падение промысла ценных видов рыб привели к интенсификации работ, направленных на разработку биотехники культивирования различных водных организмов [6], [8], [11]. Развитие рыбоводства в Карелии идет по пути индустриального выращивания рыбы в садках, прудах, бассейнах. Объектом товарного рыбоводства главным образом является радужная форель [5], [12], [14]. Объемы выращивания форели в республике к 2014 году превысили 20000 т (около 70 % всей товарной форели, выращенной в РФ). Развитию этого направления способствует обилие на территории Карелии разнотипных по продуктивности внутренних водоемов, рентабельность этого производства и поддержка, оказываемая правительством республики.

Радужная форель (*Parasalmo mykiss*) как объект выращивания характеризуется пластичностью, быстрым ростом, высокой степенью конверсии корма, относительно коротким для лососевых периодом инкубации икры, а также

возможностью проведения нереста практически в любое время года при помощи создания оптимального температурного режима для производителей [1], [2], [7], [10]. Эти качества позволили ей стать основным объектом аквакультуры в странах Европы [15], [16].

Целью работы было оценить эффективность выращивания радужной форели, поступившей в форелевое хозяйство в разные сезоны года.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Святозеро расположено в средней части водосбора реки Шуи (бассейн Онежского озера). Площадь водной поверхности составляет 9,9 км<sup>2</sup>. На озере имеется 21 остров общей площадью 0,07 км<sup>2</sup>. Максимальная глубина равна 17,2 м, средняя – 6,8 м. Наиболее распространенные глубины 7–11 м. Коэффициент условного водообмена составляет 0,24. Водосборная площадь – 40,6 км<sup>2</sup>. В озеро впадает 4 ручья, протекает протока, соединяющая его с озером Пелдожским. Средняя амплитуда колебания уровня 58 м. Прозрачность

воды около 3 м. По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Общая минерализация составляет 28,7 мг/л [9]. По количественным показателям развития планктона и бентоса водоем относится к  $\beta$ -мезотрофному типу [3], [4].

Форелевое садковое хозяйство «Помор» расположено на озере Святозеро (Республика Карелия). Мощность ФСХ с трехлетним циклом выращивания товарной продукции составляет 150 тонн рыбы в год. Хозяйство расположено в юго-восточной части озера. Глубины в районе садковых линий составляют 8–12 метров.

Материал для анализа биологических показателей форели был собран в 2013–2014 годах. Исследование роста рыбы осуществляется с помощью контрольных обловов, проводимых два раза в месяц. Во время контрольных обловов взвешивали не менее 10 % содержащихся в садке рыб. Данные обловов по каждому садку заносили в журнал, в котором отмечается не только средняя масса рыбы, но и ее прирост, количество дней кормления, количество израсходованного корма на одну особь и всех рыб в садке, отход за период между контрольными обловами. Обработка и статистический анализ данных проводились с использованием программного обеспечения Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Были исследованы 2 группы рыб, завезенных в разные сезоны года. Годовики форели в обеих группах содержались в 10 садках. Обе исследуемые группы рыб кормили кормами RehuRaisio Standart (Финляндия).

1-я группа рыб – это годовики, завезенные в хозяйство весной 2013 года в количестве 47550 штук. 2-я группа – годовики, закупленные осенью 2013 года, перезимовавшие в условиях хозяйства и в мае 2014 года рассаженные по садкам для дальнейшего выращивания, их количество составляло 40823 штуки. Весь посадочный материал закупался в Финляндии и доставлялся в хозяйство на живорыбной машине.

Обе группы рыб на начало выращивания (1 июня) имели практически одинаковую живую массу – 120–131 г (табл. 1). Как известно, весной при постепенном повышении температуры воды у форели резко повышается интенсивность питания и, следовательно, увеличивается скорость роста. В начале лета температура воды в условиях Карелии часто достигает оптимальных значений, что благоприятно сказывается на величине прироста. Так, за июнь годовики в 1-й группе увеличили свою массу почти в 2 раза, а во 2-й группе почти в 3 раза. Также следует отметить, что форель, перезимовавшая в хозяйстве, увеличи-

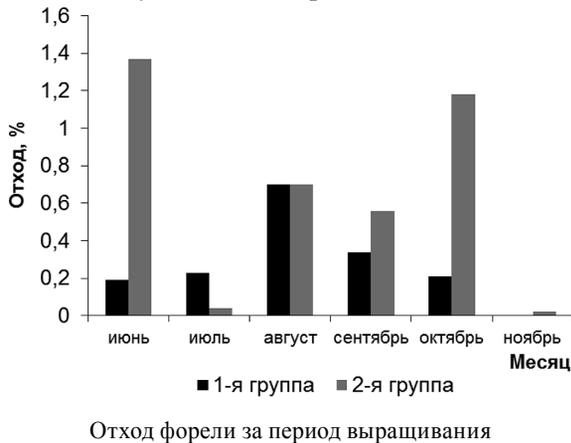
чила свою живую массу до 307 г, что на 101 г больше, чем у только что завезенной рыбы ( $P < 0,001$ ). Возможно, это объясняется тем, что форель 2-й группы не испытывала стресс от транспортировки и пересадки в новые условия. В дальнейшем при летнем выращивании интенсивность роста незначительно снижалась, что объясняется повышением температуры воды в озере. Однако преимущество по живой массе у годовиков 2-й группы сохраняется и в этот период, несмотря на то, что в августе в течение 30 дней рыба не кормилась из-за того, что температура воды превышала оптимальные значения и отмечался дефицит кислорода. Таким образом, прирост в этой группе в августе составил всего 12 г. В конце лета температура воды начинает снижаться и в водоеме создаются благоприятные условия для роста. В обеих группах живая масса годовиков значительно увеличивается и составляет к ноябрю 798 г и 960 г соответственно ( $P < 0,001$ ). Данные цифры свидетельствуют о том, что в рыбноводном хозяйстве максимально стараются создать благоприятные условия для выращивания форели, несмотря на то, что температурный и кислородный режим Святозера не всегда оптимальный. По данным Л. П. Рыжкова и др. [13], живая масса годовиков в конце вегетационного периода должна составлять 800–1200 г.

Таблица 1  
Динамика показателей живой массы годовиков радужной форели

Месяц	1-я группа (2013 год)	2-я группа (2014 год)
Июнь	0,120 ± 0,0004	0,131 ± 0,006
Июль	0,208 ± 0,010	0,307 ± 0,018
Август	0,298 ± 0,004	0,444 ± 0,025
Сентябрь	0,414 ± 0,003	0,456 ± 0,025
Октябрь	0,666 ± 0,008	0,740 ± 0,039
Ноябрь	0,798 ± 0,011	0,960 ± 0,041

При анализе эффективности выращивания годовиков радужной форели, завезенных в хозяйство в разные сезоны года, необходимо также учитывать жизнеспособность рыбы. О жизнеспособности рыбы судят по величине отхода (рисунок). Следует отметить, что общее количество отхода в обеих группах не превышало нормативных значений [12], [13], но в группе форели, перезимовавшей в хозяйстве, количество погибшей рыбы было больше – 3,82 %, чем у рыбы, поступившей весной, – 1,66 % ( $P < 0,001$ ). Это, вероятно, объясняется тем, что в первой половине лета погибала рыба, ослабленная в зимний период, а осенью большее количество отхода было обусловлено достаточно продолжительным неблагоприятным

температурным и кислородным режимом в водоеме, который отмечался в августе. Известно, что радужная форель относится к холодноводным рыбам, и повышение температуры свыше 18 °С вызывает у нее стресс, последствия этого стресса могут проявляться не сразу, а через несколько недель. В данном случае мы видим увеличение количества отхода в октябре, хотя в это время температура воды и содержание кислорода в озере не превышали пороговых значений. В конце периода выращивания, в ноябре, вообще не было отмечено случаев гибели рыбы.



Также были учтены общие затраты корма на выращивание годовиков форели (табл. 2). Они составили 32000 кг в 1-й группе и 30600 кг во 2-й группе. Исходя из этого, зная общий прирост биомассы за вегетационный период и количество израсходованных кормов, можно рассчитать величину кормового коэффициента. В 1-й группе величина кормового коэффициента была выше (1,01), чем во 2-й группе (0,94). Это свидетельствует о том, что годовики форели, находившиеся

\* Исследования выполнены при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альтов А. В., Воробьева Н. К. Аквакультура Заполярья и возможные пути ее интенсификации // Рыбное хозяйство. 2006. № 1. С. 68–71.
- Воробьева Н. К., Пестрикова Л. И., Лазарева М. А. Особенности культивирования форели на Белом и Баренцевом морях // Рыбное хозяйство. 2004. № 3. С. 40–42.
- Ильмаст Н. В., Китаев С. П., Кучко Я. А., Павловский С. А. Гидроэкология разнотипных озер южной Карелии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 92 с.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
- Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Михайленко В. Г. Кумжи, радужная форель, гольцы и перспективы их использования в озерах Северо-Запада России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. 107 с.
- Китаев С. П., Ильмаст Н. В., Стерлигова О. П. Методы оценки биогенной нагрузки от форелевых ферм на водные экосистемы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. 39 с.
- Несветов В. А. Развитие аквакультуры на Северо-Западе России // Развитие прибрежного промысла и аквакультуры в Баренцевом море: Сб. докладов науч. конф. Мурманск: ПИПРО, 1994. С. 121–124.
- Мухачев И. С. Биологические основы рыбоводства. Тюмень: Тюменский госуниверситет, 2005. 300 с.
- Озера Карелии: Справочник / Ред. Н. Н. Филатов, В. И. Кухарев. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 464 с.
- Призенко А. В. Современное состояние форелеводства в России // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2006. № 7. С. 41–48; № 9. С. 41–49.

Таблица 2  
Производственные показатели хозяйства

Производственные показатели	1-я группа (2013 год)	2-я группа (2014 год)
Учетное количество рыбы в начале сезона выращивания, шт.	47550	40823
Учетное количество рыбы в конце сезона выращивания, тыс. шт.	46760	39265
Общая масса рыбы в начале выращивания, кг	5706	5307
Общая масса рыбы к концу выращивания, кг	37354	37695
Отход за сезон выращивания, шт.	790	1558
Отход за сезон выращивания, %	1,66	3,82
Общий прирост за сезон выращивания, кг	31648	32387
Общий расход корма, кг	32000,0	30600,0
Кормовой коэффициент	1,01	0,944

в условиях данного хозяйства продолжительное время, более эффективно использовали корма.

Таким образом, закупка посадочного материала, в данном случае годовиков радужной форели, осенью и зимовка его в условиях садкового хозяйства позволяют получить более адаптированную к дальнейшему выращиванию рыбу. В результате предприятие получает большее количество продукции при меньших затратах корма, но также и более высокий процент отхода. Снижение жизнеспособности молоди может быть вызвано и другими причинами, такими как некачественный посадочный материал, условия и продолжительность транспортировки, сортировки и др. В условиях каждого конкретного хозяйства необходимо учитывать все факторы и планировать завоз молоди в оптимальные сроки для получения достаточного количества товарной продукции.

11. Рыжков Л. П. Садковая аквакультура – программа действий // Садковое рыбоводство. Технология выращивания. Кормление рыб и сохранение их здоровья: Материалы науч. конф. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. С. 3–6.
12. Рыжков Л. П., Кучко Т. Ю. Садковое рыбоводство. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 164 с.
13. Рыжков Л. П., Кучко Т. Ю., Дзюбук И. М. Основы рыбоводства. СПб.: Лань, 2011. 528 с.
14. Стерлигова О. П., Китаев С. П., Ильмаст Н. В. Состояние некоторых водоемов Северной Карелии и их использование для товарного выращивания радужной форели // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 3: Прикладная экология Севера. Вып. 2. С. 39–45.
15. Grönroos J., Seppälä J., Silvenius F., Mäkinen T. Life cycle assessment of Finnish cultivated rainbow trout // Boreal Environmental Research. 2006. № 11. P. 401–414.
16. Mäkinen T. Effect of temperature, feed ration and other factors on the growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Wallbaum 1722) cultured in Finland // Finnish Fisheries Research. 1995. № 15. P. 1–26.

**Matrosova S. V.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**I'lmast N. V.**, Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Khuobonen M. E.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Bombina M. S.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

### EFFICIENCY OF RAINBOW TROUT CULTIVATION IN CAGE FARM CONDITIONS

Materials on the effectiveness of rainbow trout cultivation, received on the trout farm at Lake Svyatozero (Pryaza district, Republic of Karelia), in different seasons are presented. It is shown that the purchase of trout in autumn and its winter stay in fish cages assists in receiving fish more adaptable to further cultivation. The data analysis shows that all factors influencing conditions of each particular fish farm must be taken into account. The delivery schedule of juveniles at the optimum time must be considered to ensure a sufficient number of marketable products.

Key words: aquaculture, cage culture, rainbow trout, the weight growth

#### REFERENCES

1. Al'tov A. V., Vorob'eva N. K. Aquaculture at Arctic area and possible ways of its intensification [Akvakul'tura Zapolyar'ya i vozmozhnye puti ee povysheniya] *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries]. 2006. № 1. P. 68–71.
2. Vorob'eva N. K., Pestrikova L. I., Lazareva M. A. Features of cultivation of trout in the White and Barents Seas [Osobennosti kultivirovaniya foreli na Belom i Barentsevom moryakh]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries]. 2004. № 3. P. 40–42.
3. Il'mast N. V., Kitaev S. P., Kuchko Ya. A., Pavlovskiy S. A. *Gidroeкологиya raznotipnykh ozer yuzhnoy Karelii* [Hydroecology of different types lakes in southern Karelia]. Petrozavodsk, KRS RAS Publ., 2008. 92 p.
4. Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhtiologov* [Basics of limnology for researchers in Hydrobiology and Ichthyology]. Petrozavodsk, KRS RAS Publ., 2007. 395 p.
5. Kitaev S. P., Il'mast N. V., Mikhaylenko V. G. *Kumzhy, raduzhnaya forel', gol'tsy i perspektivy ikh ispol'zovaniya v ozerakh Severo-Zapada Rossii* [Brown trout, rainbow trout, char and prospects of their use in the lakes of the North-Western Russia]. Petrozavodsk, KRS RAS Publ., 2005. 107 p.
6. Kitaev S. P., Il'mast N. V., Sterligova O. P. *Metody otsenki biogennoy nagruzki ot forelevykh ferm na vodnye ekosistemy* [Methods for assessing biogenic loads from trout farms on aquatic ecosystems]. Petrozavodsk, KRS RAS Publ., 2006. 39 p.
7. Nesvetov V. A. Aquaculture development in the North-West of Russia [Razvitie akvakul'tury na Severo-Zapade Rossii]. *Razvitie pribrezhnogo promysla i akvakul'tury v Barentsevom more: Sbornik докладов nauchnoy konferentsii* [Development of coastal fisheries and aquaculture in the Barents Sea: Proceedings of the scientific conference]. Murmansk, PINRO Publ., 1994. P. 121–124.
8. Mukhachev I. S. *Biologicheskie osnovy rybovodstva* [Biological basis of fish farming]. Tyumen, Tyumen State University Publ., 2005. 300 p.
9. *Ozera Karelii: Spravochnik* [Lakes of Karelia. Reference book]. Eds.: N. N. Filatov, V. I. Kukharev. Petrozavodsk, KRS RAS Publ., 2013. 464 p.
10. Prizenko A. V. The current state of the trout cultivation in Russia [Sovremennoe sostoyanie forelevodstva v Rossii]. *Rybovodstvo i rybnoe khozyaystvo* [Fish farming and fisheries]. 2006. № 7. P. 41–48; № 9. P. 41–49.
11. Ryzhkov L. P. Cage aquaculture – action program [Sadkovaya akvakul'tura – programma deystviy]. *Sadkoe rybovodstvo. Tekhnologiya vyrashchivaniya. Kormlenie ryb i sokhraneniye ikh zdorov'ya: Materialy nauchnoy konferentsii* [Cage culture. Growing technology. Feeding the fish and preservation of its health: Materials. Sci. Conf.]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2008. P. 3–6.
12. Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu. *Sadkoe rybovodstvo* [Cage fish farming]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2008. 164 p.
13. Ryzhkov L. P., Kuchko T. Yu., Dzuybuk I. M. *Osnovy rybovodstva* [Basics of fish farming]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2011. 528 p.
14. Sterligova O. P., Kitaev S. P., Il'mast N. V. Condition of some reservoirs in North Karelia and their use for commercial cultivation of rainbow trout [Sostoyaniye nekotorykh vodoemov Severnoy Karelii i ikh ispol'zovaniye dlya tovarnogo vyrashchivaniya raduzhnoy foreli]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. № 3: Prikladnaya ekologiya Severa* [Proceedings of the Kola Scientific Center RAS. № 3. Applied Ecology of the North]. 2012. Issue 2. P. 39–45.
15. Grönroos J., Seppälä J., Silvenius F., Mäkinen T. Life cycle assessment of Finnish cultivated rainbow trout // Boreal Environmental Research. 2006. № 11. P. 401–414.
16. Mäkinen T. Effect of temperature, feed ration and other factors on the growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Wallbaum 1722) cultured in Finland // Finnish Fisheries Research. 1995. № 15. P. 1–26.

УДК 574.52:621.221.2(268.46)

**ГАЛИНА АНДРЕЕВНА ШКЛЯРЕВИЧ**

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

**ЕЛЕНА АНАТОЛЬЕВНА МОИСЕЕВА**

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

## АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО СБРОСА ПРЭСНЫХ ВОД ИЗ СИСТЕМ ГЭС В БЕЛОЕ МОРЕ НА МЕЛКОВОДНЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ\*

Представлена картина 14-летних наблюдений за резкими колебаниями численности и биомассы литоральных мидий *Mytilus edulis* L. и некоторых других беспозвоночных в вершине Кандалакшского залива. Эти колебания связаны с рядом антропогенных факторов, важнейшим из них являются распресняемые поверхностные слои морской воды, омывающей биотопы ценозов мелководных беспозвоночных, которые вызываются сезонными залповыми холостыми сбросами пресной воды из водохранилища озера Имандра. Необходима коррекция этого процесса для сведения к минимуму его негативного воздействия на морские экосистемы. Мелководные экосистемы являются кормовыми (пастбищными) угодьями многочисленных морских птиц, рыб и некоторых видов морских млекопитающих региона Кандалакшского и Онежского заливов, включенного в список водно-болотных угодий международного значения для охраны водоплавающих птиц по Рамсарской конвенции. Сформулированы рекомендации для принятия решений о сроках и режиме холостых массивированных сбросов воды из водохранилищ ГЭС с учетом необходимости сохранения естественных и заповедных экосистем, а также всей биоты окружающей мелководной акватории, которые находятся в зоне влияния залповых сбросов пресной воды в Белом море.

Ключевые слова: распреснение, мидия, *Mytilus edulis*, рекомендации, сохранение экосистем

### ВВЕДЕНИЕ

Максимальное антропогенное воздействие испытывают акватории Белого моря, примыкающие к населенным пунктам Республики Карелия, Архангельской и Мурманской областей. Сюда поступает подавляющая часть стоков, попадающих в Белое море с территории Карельского перешейка, Кольского полуострова и Архангельской области, на эти участки приходится и основное аэротехногенное загрязнение. Большинство крупных рек, впадающих в Белое море, зарегулированы в связи с сооружением и функционированием каскадов гидроэлектростанций. В результате резко нарушается естественный природный ход процесса сезонного (особенно весеннего) распреснения прибрежных морских вод. Это модифицирует действие ксенобиотических факторов окружающей среды и вызывает гибель массовых мелководных беспозвоночных животных, являющихся важными кормовыми объектами в трофической составляющей экосистем Белого моря.

Цель настоящей работы – обратить внимание научной и активной части гражданской ответственности на еще один антропогенный фактор, определяющий состояние морских экосистем, –

регулирование стоков рек в связи с эксплуатацией каскадов ГЭС в областях влияния пресных вод, особенно во время сезонных залповых холостых сбросов из водохранилищ. Разработать биологически и экологически обоснованные рекомендации по регламентации сброса воды для принятия решений о его сроках и режиме администрациями ГЭС и природоохранительными органами. Рекомендации должны минимизировать губительное воздействие распресняющего антропогенного фактора на биоту Белого моря.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 1999 году у северо-западного побережья о. Оленьего на корге обнаружено поселение<sup>1</sup> мидий с плотностью от 10900 до 17900 экз./м<sup>2</sup>. Здесь был заложен стационарный мониторинговый полигон размером 50 × 100 м для многолетних наблюдений за массовыми литоральными беспозвоночными, в том числе и за *Mytilus edulis*. Корга представляет собой плоскую песчано-каменистую обсышку во время отлива и заливаемую морской водой во время прилива. Она располагается в самой вершинной части Кандалакшского залива, подверженной влиянию распреснения

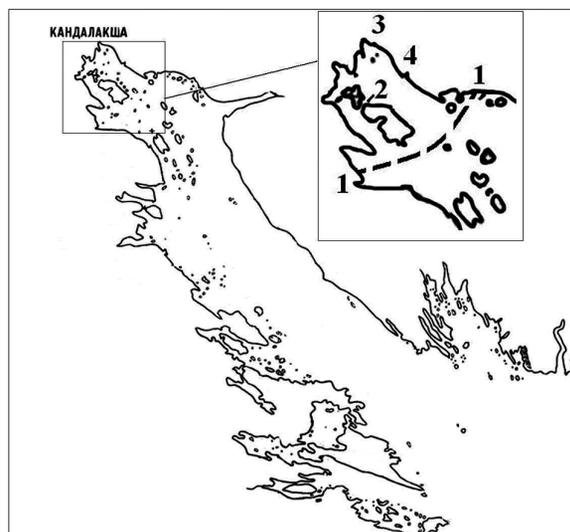


Рис. 1. Участок акватории вершины Кандалакшского залива Белого моря: 1 ---- 1 – граница кутового участка акватории вершины Кандалакшского залива Белого моря; 2 – корга у о. Олений со стационарным мониторинговым полигоном для многолетнего слежения за состоянием массовых литоральных беспозвоночных, в том числе и *Mytilus edulis*; 3 – отводящий канал Нивских ГЭС; 4 – река Нива

из отводящего канала Нивских ГЭС и реки Нива (рис. 1). На поверхности грунта здесь преобладает песок, крупнозернистые фракции: гравий, галька и небольшое количество валунов. В 1999 году к наиболее крупным каменистым фракциям – гальке и валунам – прикреплялись друзы, часто сливающиеся в сплошные щетки и более крупные поселения (площадью до десятков квадратных метров) *Mytilus edulis*. Грунт под мидиями в годы спада численности и биомассы представлял собой черный ил с резким запахом сероводорода. В поверхностных слоях грунта много ракушки различных видов моллюсков. С 1999 года здесь ежегодно (исключение составил лишь 2004 год, когда мы не могли попасть на коргу) собиралось по 5 проб с общей площади 0,05 м<sup>2</sup> в конце июня, чаще в июле. На участке полигона в поселении мидий выборка проб всегда была случайной. Взвешивались мидии вместе с раковиной после обсушивания на фильтровальной бумаге на электронных и торсионных весах с точностью до 1 мг. Соленость морской воды на стационарном мониторинговом полигоне измерялась ареометром по плотности с дальнейшим переводом ее в соленость по океанологическим таблицам [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 1999 году мидиевое поселение на полигоне корги у о. Оленьего было обследовано впервые. Плотность этих моллюсков в среднем почти 14 тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса – 8 кг/м<sup>2</sup>. В 2000 году

наблюдалась массовая гибель мидий из-за резкого и продолжительного опреснения, причиной которого стал массивированный холостой сброс воды из водохранилища (оз. Имандра) Нивских ГЭС по отводящему каналу и реке Нива. В 2000 году сброс продолжался в течение нескольких месяцев с начала марта по начало мая и с начала июня по начало июля. В начале июля в районе исследуемого полигона морская вода на вкус была почти пресной (около 3 ‰). Хотя со второй половины 1990-х годов сбросы в весенне-летний период производились каскадом Нивских ГЭС практически ежегодно, но столь продолжительные и мощные наблюдались впервые после зарегулирования реки. Обычная (для начала лета) соленость поверхностных вод (8–15 ‰) восстановилась не ранее конца июля, и только к 5 октября она достигла 16,65 ‰. В результате уже к началу июля, когда были проведены исследования на мониторинговом полигоне у о. Оленьего, произошла массовая гибель двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis*. Створками погибших мидий была усеяна вся нижняя литораль и верхняя часть сублиторали. Средняя плотность этих моллюсков снизилась с 13 880 ± 1 628 экз./м<sup>2</sup> в 1999 году до 200 ± 137 экз./м<sup>2</sup> в 2000 году; средняя биомасса – с 8 157 ± 948 г/м<sup>2</sup> до 77 ± 69 г/м<sup>2</sup> соответственно.

Численность и биомасса брюхоногих моллюсков *Littorina obtusata*, *Littorina saxatilis* и *Hydrobia ulvae* на литорали заповедных островов вблизи Кандалакши упала в десятки раз, пострадали или исчезли мидиевые банки в радиусе до 5–10 км от устья реки и отводящего канала. Минимальная оценка снижения биомассы моллюсков – от 6 до 12 т (литторины – не менее 1–2 т; мидии – не менее 5–10 т). Прямой ущерб, нанесенный заповеднику, оцениваемый по количеству отмерших моллюсков, превышал десятки миллионов рублей (в ценах 2000 года); косвенный, связанный со снижением биологической емкости угодий и их экологическим состоянием, еще выше, но его нельзя оценить даже ориентировочно [3].

С 2000 по 2003 год происходило постепенное восстановление поселения мидий; их плотность возросла с 200 до 1080 экз./м<sup>2</sup>, а биомасса – с 75 до 500 г/м<sup>2</sup> (рис. 2). Но катастрофическими оказались продолжительные сбросы не только в 2000 году. Они также случились в 2007 и 2012 годах, в результате соленость поверхностных слоев морской воды составила 5,0 и 9,7 ‰ соответственно (измерения проводились 5–10 июля). И в эти годы также наблюдалась массовая гибель мелководных беспозвоночных. Такие виды, как *Mytilus edulis*, *Semibalanus balanoides*, *Littorina obtusata*, *Littorina*

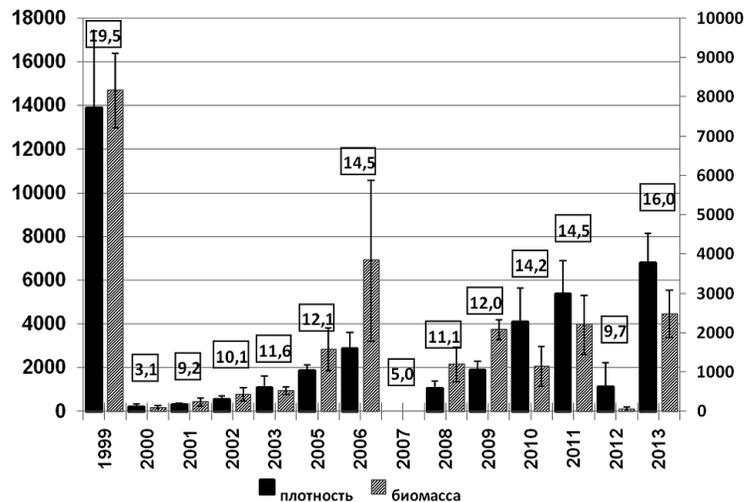


Рис. 2. Межгодовые изменения плотности и биомассы мидий *Mytilus edulis* на мониторинговом полигоне корги у о. Оленьего. По оси абсцисс – годы исследований. По оси ординат – слева: плотность, экз./м<sup>2</sup> ( $x \pm mx$ ); справа: биомасса мидий, г/м<sup>2</sup> ( $x \pm mx$ ); в квадратных рамках – значения солености поверхностных слоев морской воды

*saxatilis* и *Hydrobia ulvae*, вновь резко сократились по своим количественным показателям.

В Кандалакшском заливе максимальное антропогенное воздействие испытывает вершинный (кутовой) участок акватории севернее линии губа Палкина – о. Большой Березовый (см. рис. 1). Сюда поступает подавляющая часть стоков, попадающих в залив с территории Мурманской области, на этот участок приходится и основное аэротехногенное загрязнение.

Антропогенный прессинг состоит из разнообразных составляющих, среди которых можно выделить основные:

- Загрязнение из атмосферы – оседание загрязняющих веществ из дымовых выбросов (аэротехногенное), кислотные дожди и т. д.
- Загрязнение, поступающее с населенной части побережья вершины Кандалакшского залива: хозяйственно-бытовые, производственные и ливневые стоки, дающие ежегодно более 2 тысяч тонн загрязняющих веществ различной природы – нефтепродукты, органические вещества, тяжелые металлы [7].
- Загрязнение из бассейна реки Нива – озера Имандра, откуда поступает наибольший объем загрязняющих веществ (сотни тонн тяжелых металлов, десятки тысяч тонн минеральных солей – сульфатов и хлоридов, взвешенных веществ, азота, фосфора и др.). В результате мутность и минерализация воды в реке Нива увеличены по сравнению с естественными в два раза. Природные системы самоочищения водоемов не справляются с огромной массой загрязняющих веществ, и значительная их часть переносится в Кандалакшский залив Белого моря [8].

- Сезонные залповые холостые сбросы пресной воды из водохранилища озера Имандра, что вызывает сильное распреснение поверхностных слоев морской воды (до 1–3 ‰) в значительной части вершины Кандалакшского залива. Сроки залповых сбросов значительно смещены во времени по сравнению с естественным ходом сезонного распреснения.
- Уровень антропогенного радиоактивного загрязнения вод и донных отложений Белого моря в последние 10–15 лет значительно снизился [6], хотя с большой долей вероятности следует предположить, что в той или иной степени продолжает иметь место.

Констатация фактов отрицательного воздействия загрязнения среды Белого моря основана на результатах биохимических анализов беломорских мидий и амфипод, собранных на наших мониторинговых полигонах [9], [12], [13].

Первые четыре основные группы факторов антропогенного происхождения являются не только взаимно модифицирующими друг друга, но в ряде случаев суммирующимися и даже взаимно усиливающими свое воздействие на морские организмы. Поэтому гидробионты, населяющие мелководья кутовой части Кандалакшского залива, по всей вероятности, обитают на пределе своего эколого-физиологического диапазона толерантности и могут быть особенно чувствительны к какому-либо дополнительному стрессу, который может обладать триггерным эффектом и запускать целую цепочку негативных процессов. В роли такого стрессирующего фактора в 2000, 2007 и 2012 годах выступило длительное и сильное распреснение морской воды в резуль-

тате массивованного холостого сброса воды из водохранилища (оз. Имандра) Нивских ГЭС.

В 1999 году на мониторинговом полигоне были представлены мидии всех возрастов последовательно от только что осевшей из планктона молоди (0+) до 14+. В 2000 году здесь нашлось лишь 10 живых особей *Mytilus edulis*, из которых одна оказалась сеголетком, две годовиками, остальные двух-, трех-, четырех- и пятилетнего возраста. Мидии обладают высокой степенью эвригалинности. Границами соленостного диапазона для беломорской популяции этого вида являются значения 10–40 ‰ [10].

Ниже границы диапазона толерантности (10 ‰) как у только что осевших личинок, так и у годовиков и мидий более старших возрастов наблюдается сначала рефлекторная реакция закрывания створок, а затем они открываются и фильтрация возобновляется. При солености 4 ‰ беломорские *Mytilus edulis* могут жить всего от 4 до 12 суток, после чего погибают [10]. Отсюда следует, что, по всей вероятности, в результате распреснения в 2000 году (май, июнь, начало июля) на исследуемом полигоне все мидии должны были погибнуть.

Но почему же на литорали корги в 2000 году в конце июля были обнаружены особи *Mytilus edulis* в возрасте от только что осевших до 5-летних?

Мидии относятся к седентарным животным в постларвальной фазе онтогенеза (прикрепляются биссусными нитями к субстрату литорали и сублиторали), ведущим прикрепленный образ жизни их донной гемипопуляции. Но в молодом возрасте эти моллюски могут совершать миграции [4] и, перемещаясь, пополнять молодью литоральную часть поселения из сублиторальной [1].

Вокруг корги, на которой мы проводили исследования, существует сублиторальное мидиевое поселение, распространенное до глубины примерно 5 м. Оно, очевидно, и явилось донором молодой части литорального поселения на мониторинговом участке корги. Поскольку *Mytilus edulis* является бореальным видом, сублиторальных моллюсков могут привлекать более благоприятные для них температурные условия на литорали и более богатая трофическая ниша.

Искусственное регулирование стока проводится без учета минимальных экологических потребностей определенного диапазона переносимых колебаний солености морскими беспозвоночными животными, обитающими в хронически загрязняющейся (комплексом самых различных ксенобиотиков) акватории.

Таким образом, регулирование сброса пресных вод реки Нива без соблюдения нижеизложенных рекомендаций наносит ущерб заповедным акваториям в Белом море и является нарушением заповедного режима и Федерального закона «Об особо охраняемых природных территориях Российской Федерации». В настоящее время процедура принятия решений о холостых массивованных сбросах воды из водохранилищ каскада Нивских ГЭС не учитывает необходимость сохранения заповедных экосистем и биоты окружающей мелководной акватории, которые находятся в зоне влияния сброса.

## РЕКОМЕНДАЦИИ

Для того чтобы при сбросе пресных вод в море свести к минимуму отрицательное воздействие на морские экосистемы, необходима коррекция этого процесса в соответствии со следующими предлагаемыми нами рекомендациями.

1. Перед процедурой сброса воды необходимы консультации заинтересованных сторон: администрации каскадов ГЭС, а также администраций природоохранных организаций. В Кандалакшском заливе – с главой администрации и ученым советом Кандалакшского государственного природного заповедника.
2. Процедура обоснования и согласования сроков сброса должна быть проведена заблаговременно, так как, во-первых, подавляющее большинство биоты, населяющей мелководья Белого моря, – бореальные виды и они приступают к размножению в теплый период летнего сезона (когда температура морской воды достигнет 8–9 °С). Это необходимо для того, чтобы не вызвать гибели гамет, зигот и шока личиночного пула, особенно на ранних, самых уязвимых стадиях эмбрио- и онтогенеза. Во-вторых, большинство морских беспозвоночных относятся к пойкилосмотическим организмам и лучше переносят распреснение при пониженных, чем при более высоких, температурах окружающей среды. Таким образом, массивованный сброс пресной воды в море должен быть произведен до начала нереста массовых беспозвоночных бореальных видов и достижения температуры мелководных слоев морской воды 8–9 °С.
3. Сброс должен быть дробным. В самом начале объем сброса может быть достаточно большим, но кратковременным, таким, чтобы соленость поверхностных слоев воды была меньше 5 ‰. Все беспозвоночные, имеющие раковины и домики, рефлекторно изолируют свое тело от внешней распресненной среды, а животные, способные к передвижению, переместятся в

- сублиторальную зону. При солености 5–8 ‰ они впадут в шоковое состояние [11].
4. Во время сброса необходимо осуществлять непрерывный контроль за соленостью и температурой морской воды, корректировать режим сброса адекватно логике экологических требований морских беспозвоночных к факторам окружающей среды, а также настоящей рекомендации.
  5. Со стороны природоохранительных организаций заповедных акваторий необходимо осуществлять контроль за соответствием реального режима сброса рекомендациям; в случае нарушения этого соответствия природоохранительным организациям следует обращаться за принудительным решением органов, регламентирующих природопользование, а также добиваться судебных постановлений и строгого соблюдения соответствия режима сброса рекомендациям.

Искусственное регулирование стока, которое наносит ущерб заповедным акваториям, является нарушением Федерального закона «Об особо охраняемых природных территориях Российской Федерации».

В настоящее время процедура принятия решений о холостых сбросах воды на каскаде Нивских ГЭС в Кандалакшском заливе Белого моря абсолютно не учитывает необходимость сохранения заповедных экосистем, которые находятся в зоне влияния сбросов. Необходима коррекция этой процедуры на основе взаимных консультаций заинтересованных сторон или путем принудительных решений органов, регламентирующих природопользование, и судебных постановлений.

Выражаем глубокую благодарность администрации Кандалакшского государственного природного заповедника за предоставленную возможность сбора материала и последующего выполнения этой работы.

\* Статья подготовлена в рамках реализации комплекса мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

#### ПРИМЕЧАНИЕ

<sup>1</sup> Поселение – это «минимальная субпопуляционная система, которой присущи черты самоорганизации. В практических экологических исследованиях поселение – это агрегация особей изучаемого вида в пределах отдельного местообитания, ограниченного от местообитаний других поселений по физико-химическим показателям среды и по резкому изменению плотности поселения особей вида» [5; 39].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков А. Н., Максимович Н. В., Сиренко Б. И. Особенности распределения, роста и продукции *Mytilus edulis* L. в различных биотопах на примере поселений у Сонострова (Белое море) // Гидробиологические особенности юго-восточной части Кандалакшского залива в связи с марикультурой мидий на Белом море. Исследование фауны морей. № 39 (47). Л.: ЗИН АН СССР, 1988. С. 97–108.
2. Зубов Н. Н. Океанологические таблицы. Л.: Гидромет, 1957. 405 с.
3. Корякин А. С., Шкляревич Г. А. Регулирование реки Нивы и сохранение заповедного режима в кутовом участке Кандалакшского залива // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. конф. Архангельск, 2001. С. 41–44.
4. Луканин В. В., Лангуев Н. К. Распределение и экология локального поселения мидий (*Mytilus edulis* L.) на беломорской литорали // Экологические исследования перспективных объектов марикультуры фауны Белого моря. Исследования фауны морей. № 27 (35). Л.: ЗИН АН СССР, 1982. С. 17–24.
5. Максимович Н. В. О концепции понятия поселение в экологии морского бентоса // Чтения памяти К. М. Дерюгина: Материалы V научного семинара. СПб., 2003. С. 23–44.
6. Матишов Г. Г., Ильин Г. В. Еще раз о влиянии морей России на здоровье человека // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76. № 4. С. 315–317.
7. Мискевич И. В., Чугайнова В. А. Характеристика загрязнения вод Белого моря в период весна – осень 2000 г. // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Архангельск: Правда Севера, 2001. С. 48–49.
8. Моисеев Т. И. Влияние антропогенных факторов на качество рек бассейна Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: Тез. докл. IV региональной конференции. Архангельск, 1999. С. 79–81.
9. Немова Н. Н., Богдан В. В., Шкляревич Г. А. Амфиподы как индикаторы характера воздействия антропогенных факторов на прибрежные акватории Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2012. № 4 (125). С. 7–12.
10. Саранцова О. Л., Кулаковский Э. Е. Влияние солености среды на разные стадии развития морской звезды *Asterias rubens* и мидий *Mytilus edulis* // Биология моря. 1982. № 1. С. 34–39.
11. Хлебович В. В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 1974. 236 с.
12. Lysenko L., Kantserova N., Käiväräinen E., Krupnova M., Shklyarevich G., Nemova N. Biochemical markers of pollutant responses in macrozoobenthos from the White Sea: Intracellular proteolysis // Marine Environmental Research. 2014. Vol. 96. P. 38–44.

13. Fokina N. N., Bakhmet I. N., Shklyarevich G. A., Nemova N. N. Effect of seawater desalination and oil pollution on the lipid composition of blue mussels *Mytilus edulis* L. from the White Sea // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2014. Vol. 110. P. 103–109.

Shklyarevich G. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
Moiseeva E. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

#### ANTHROPOGENIC INFLUENCE OF THE FRESH WATER CONTROLLED DISCHARGE FROM THE WHITE SEA HYDRO-POWER-STATIONS ON SHALLOW-WATER INVERTEBRATES

Research results of the 14-year observations pertaining fluctuations in numerical strength and biomass of intertidal mussel *Mytilus edulis* L. and some other invertebrates in the upper Kandalaksha Bay are presented. These oscillations are associated with a number of anthropogenic factors; the most important of them are freshwater surface layers of the sea water, which wash the habitats of shallow invertebrates. The freshwater layers of the sea water appear due to the seasonal salvo dumping of fresh water from the reservoir lake Imandra. This process must be corrected in order to minimize its negative impact on the marine ecosystem. Shallow-water ecosystems are food pastures of numerous seabirds, fish, and some species of marine mammals in the region of Kandalaksha and Onega bays. These regions are included into the list of wetlands of international importance for the protection of waterfowl by the Ramsar Convention. We formulated recommendations for the timing and mode of single massive discharge of fresh water from HPP reservoirs into the waters of the White Sea. The need to preserve natural environment and to protect ecosystems (as well as all surrounding biota shallow water areas) that are in the zone of the fresh water discharge influence is considered.

Key words: desalination of sea water, mussel, *Mytilus edulis*, recommendations, maintenance of ecosystems

#### REFERENCES

- Golikov A. N., Maksimovich N. V., Sirenko B. I. Features of distribution, height and products of *Mytilus edulis* L. in different biotopes on the example of settlements at Сонострова (White sea) [Osobennosti raspredeleniya, rosta i produktsii *Mytilus edulis* L. v razlichnykh biotopakh na primere poseleniy u Sonostrova (Beloe more)]. *Gidrobiologicheskie osobennosti yugo-vostochnoy chasti Kandalakshskogo zaliva v svyazi s marikul'turoy midiy na Belom more. Issledovanie fauny morey*. № 39 (47). Leningrad, 1988. P. 97–108.
- Zubov N. N. *Okeanologicheskie tablitsy* [Oceanological tables]. Leningrad, Gidromet Publ., 1957. 405 p.
- Koryakin A. S., Shklyarevich G. A. Adjusting of the river the Fields and maintenance of the protected mode is in the upper of Kandalaksha bay [Regulirovanie reki Nivy i sokhranenie zapovednogo rezhima v kutovom uchastke Kandalakshskogo zaliva]. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnykh resursov Belogo morya: Tez. dokl. konf.* Arkhangelsk, 2001. P. 41–44.
- Lukanin V. V., Languev N. K. Distribution and ecology of local settlement of mussels (*Mytilus edulis* L.) on the intertidal of White seas [Raspredelenie i ekologiya lokal'nogo poseleniya midiy (*Mytilus edulis* L.) na belomorskoy litorali]. *Ekologicheskie issledovaniya perspektivnykh ob'ektov marikul'tury fauny Belogo morya. Issledovaniya fauny morey*. № 27 (35). Leningrad, 1982. P. 17–24.
- Maksimovich N. V. About conception of concept a settlement is in ecology of marine benthos [O kontseptsii ponyatiya poselenie v ekologii morskogo bentosa]. *Chteniya pamyati K. M. Deryugina: Materialy V nauchnogo seminara*. St. Petersburg, 2003. P. 23–44.
- Matishov G. G., Il'in G. V. Once again about influence of seas of Russia on the health of man [Eshche raz o vliyaniy morey Rossii na zdorov'e cheloveka]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2006. Vol. 76. № 4. P. 315–317.
- Miskevich I. V., Chugaynova V. A. Description of contamination of waters of the White sea in a period spring-autumn of 2000 year [Kharakteristika zagryazneniya vod Belogo morya v period vesna – osen' 2000 goda]. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnykh resursov Belogo morya*. Arkhangelsk, 2001. P. 38–49.
- Moiseenko T. I. Influence of anthropogenic factors on quality of the rivers of pool of the White sea [Vliyanie antropogennykh faktorov na kachestvo rek basseyna Belogo morya]. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnykh resursov Belogo morya: Tez. dokl. IV regional'noy konferentsii*. Arkhangelsk, 1999. P. 79–81.
- Nemova N. N., Bogdan V. V., Shklyarevich G. A. Amphipoda as indicators of character of influence of anthropogenic factors on the off-shore aquatoriums of the White sea [Amfipody kak indikatory kharaktera vozdeystviya antropogennykh faktorov na pribrezhnye akvatorii Belogo morya]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2012. № 4 (125). P. 7–12.
- Saranchova O. L., Kulakovskiy E. E. Influence of salinity of environment on the different stages of development of starfish of *Asterias rubens* and mussel *Mytilus edulis* [Vliyanie solenosti sredy na raznye stadii razvitiya morskoy zvezdy *Asterias rubens* i midii *Mytilus edulis*]. *Biologiya morya*. 1982. № 1. P. 34–39.
- Khlebovich V. V. *Kriticheskaya solenost' biologicheskikh protsessov* [Critical salinity of biological processes]. Leningrad, Nauka Publ., 1974. 236 p.
- Lysenko L., Kantserova N., Käiväräinen E., Krupnova M., Shklyarevich G., Nemova N. Biochemical markers of pollutant responses in macrozoobenthos from the White Sea: Intracellular proteolysis // *Marine Environmental Research*. 2014. Vol. 96. P. 38–44.
- Fokina N. N., Bakhmet I. N., Shklyarevich G. A., Nemova N. N. Effect of seawater desalination and oil pollution on the lipid composition of blue mussels *Mytilus edulis* L. from the White Sea // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2014. Vol. 110. P. 103–109.

**НАДЕЖДА АЛЕКСАНДРОВНА ЕЛЬКИНА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
z\_nat2003@mail.ru

**ЕКАТЕРИНА ЕВГЕНЬЕВНА КАРПОВА**

студент V курса эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
carpowa.katerina@yandex.ru

### ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛИНОИНДИКАЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ АДАПТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИМОРСКИХ РАСТЕНИЙ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ\*

Проведены исследования по изучению состояния пыльцевых зерен у трех видов растений, произрастающих на приливно-отливной зоне западного побережья Белого моря (пос. Кереть, Лоухский район, Республика Карелия) – *Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz. subsp. *tripolium* (L.) Greuter., *Plantago maritima* L. s. str. и *Alopecurus arundinaceus* Poir. Состояние пыльцевых зерен учитывалось на стадии максимального цветения растений. Количество выявленных нарушений в строении пыльцы составляет для *Tripolium pannonicum* subsp. *tripolium* от 9 до 25 %, для *Plantago maritima* от 41 до 59 % и для *Alopecurus arundinaceus* от 34 до 37 %. Оценка варьирования уровня нормально сформированных пыльцевых зерен показала разную степень приспособленности изученных растений к условиям приливно-отливной динамики. По степени адаптированности к условиям произрастания данные виды можно расположить в следующий ряд *Tripolium pannonicum* subsp. *tripolium* – *Plantago maritima* – *Alopecurus arundinaceus*. Астра солончаковая (*Tripolium pannonicum* subsp. *tripolium*) имеет признаки, характерные для вида-индикатора, и рекомендована для проведения палиноиндикационного анализа.

Ключевые слова: пыльцевые зерна, тератоморфная пыльца, биоиндикатор, адаптивный потенциал, приливно-отливная зона, Белое море

#### ВВЕДЕНИЕ

Показатели морфологических характеристик пыльцевых зерен используются для изучения возможностей растений адаптироваться к динамическим и стрессовым условиям обитания, а также для оценки экологической пластичности и толерантности репродуктивных механизмов растений [1], [5], [8].

Одни и те же воздействия внешней среды у разных видов приводят к различным результатам. Таким образом, в реакциях пыльцевых зерен на воздействия внешней среды проявляются биологические свойства вида, в том числе особенности его репродуктивной системы [3]. Нарушения в развитии пыльцевых зерен под влиянием неблагоприятных и постоянно изменяющихся условий обитания, воздействия различных реагентов антропогенного происхождения приводят к образованию тератоморфной (аномальной, уродливой) пыльцы [5], [8].

Необходимость ранней диагностики состояния растений особенно остро возникает в тех районах, где складываются экстремальные для

видов условия произрастания. Большой интерес представляет поиск простых и информативных признаков, маркирующих устойчивость и состояние растительных организмов. Как показали исследования, именно морфометрические признаки пыльцы – одни из самых стабильных [8].

К местообитаниям с постоянно динамичными условиями можно отнести приливно-отливную зону морских побережий. Высшие растения, обитающие в условиях приливно-отливной динамики, произрастают в нестабильных условиях. Популяционная биология видов растений, обитающих в приливно-отливной зоне голарктических морей, до настоящего времени практически не изучалась.

Исследования по оценке состояния полового поколения у растений разных экотопов приливно-отливной зоны побережья Белого моря начаты сотрудниками кафедры ботаники и физиологии растений Петрозаводского государственного университета в 2012 году. Установлено, что состояние пыльцевых зерен у доминантных видов растений приливно-отливной зоны Белого моря в районе пос. Растьнаволок – астры солончако-

вой (*Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz. subsp. *tripolium* (L.) Greuter, сем. *Asteraceae*), триостренника морского (*Triglochin maritimum* L., сем. *Yuncagenaceae*) и гляукса морского (*Glauca maritima* L. сем. *Primulaceae*) – отличается в разных условиях произрастания. По степени адаптированности на уровне репродуктивной сферы их можно расположить в следующий ряд: астра солончаковая, млечник морской и триостренник морской. Доминирование этих видов на побережье Белого моря в условиях приливно-отливной динамики обеспечено высоким уровнем пластичности, вклад в которую вносит и состояние репродуктивной сферы [4].

Цель нашего исследования – изучить состояние пыльцевых зерен некоторых видов растений приливно-отливной зоны западного побережья Белого моря и возможность использования морфометрических характеристик пыльцы для оценки качества среды обитания. Учитывая то, что Арктический регион начинает стремительно развиваться и, следовательно, негативное антропогенное влияние на состояние природной среды будет расти, поиск вида-индикатора очень актуален.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование репродуктивной сферы растений было продолжено нами в июле 2014 года на берегу Кандалакшского залива Белого моря – бухта Лебяжья – в устье реки Кереть. Объектами исследований стали виды высших растений, произрастающие на приливно-отливной зоне: астра солончаковая (*Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz. subsp. *tripolium* (L.) Greuter, сем. *Asteraceae*), подорожник морской (*Plantago maritima* L. s. str., сем. *Plantaginaceae* Juss.), лисохвост тростниковидный (*Alopecurus arundinaceus* Poir., сем. *Poaceae* Varnhart). Для сбора пыльцевого материала была заложена трансекта длиной 48 м от линии уреза воды в направлении с севера на юг. Пробные площади, заложенные на разной удаленности от уреза воды, характеризуются разным временем заливания и типом субстрата. Литоральная зона подвергается заливанию на 6–8 ч. с четкой периодичностью, а зона супралиторали (зона заплеска) чаще всего только орошается брызгами морской воды. Пробные площади (ПП) 1–6 расположены на удалении от уреза воды от 16 до 30 м в литоральной зоне с илистым или каменисто-илистым субстратом. По мере удаления от границы воды время и степень заливания растений уменьшаются. Так, растения на ПП 1 (у линии уреза воды в отлив) подвергаются самому быстрому и полному заливанию, а уже начиная с ПП 4 (20 м от линии уреза воды) отмечается час-

тичное и меньшее по продолжительности заливание растений. Пробные площади 7–9 находятся в 40–50 м от уреза воды на глинисто-песчаном субстрате в зоне супралиторали.

Собраны соцветия трех исследуемых видов растений на всех пробных площадях трансекты и зафиксированы в 70 % спирте. Соцветия отбирали с 3–4 растущих рядом растений одного вида для формирования образца данной пробной площади. Для выявления неполноценной пыльцы применялся стандартный ацетокарминовый метод [6]. Тератоморфная, стерильная пыльца не окрашивается или слабо окрашивается кармином. У нормально сформированной, фертильной пыльцы цитоплазма зернистая и окрашена в густо-карминовый цвет. Всего было исследовано по 500 пыльцевых зерен у каждого вида растения на каждой пробной площади. Определено количество нормально сформированной и тератоморфной пыльцы. Проведена статистическая обработка материала [2]. Для оценки пластичности был использован коэффициент вариации морфологических показателей пыльцы [10]. В качестве эталона использованы описания пыльцевых зерен, приведенные в литературе [7], [9], [11].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Астра солончаковая произрастает на семи из девяти пробных площадей (ПП 1–7). Пыльцевые зерна *Tripolium pannonicum*, описанные в литературе, имеют сфероидальную форму, трехбороздно-апертурные. В очертании с полюса трехлопастные. Средний диаметр пыльцевого зерна до 30 мкм. Борозды глубокопогруженные. Поры округлые. Экзина толстая, с крупношиповатой скульптурой. Шипы в основании конические, к верхушке заостренные [11]. Анализ качества пыльцы астры солончаковой показал, что от 74,5 до 90,9 % пыльцевых зерен соответствуют норме (таблица). Нарушения в развитии пыльцы астры чаще всего представлены пыльцевыми зернами без содержимого (5,9–23,6 %). Такие пыльцевые зерна не прокрашены ацетокармином, но форма пыльцы и скульптура экзины сохраняются. Гораздо реже встречаются нарушения, связанные с состоянием цитоплазмы (1,0–3,9 %). Цитоплазма выглядит комковатой, отошедшей от оболочек, неравномерно прокрашена кармином. Наиболее редки нарушения развития экзины пыльцевого зерна (0,7–3,0 %) – шипы неравномерно сглажены, иногда практически отсутствуют, поверхность пыльцы гладкая.

Наименьшее количество тератоморфной пыльцы наблюдается у растений астры солончаковой, произрастающей на ПП 4 и 5. Значения коэффициента вариации (CV) нормально развитой

Показатели качества пыльцы растений приливо-отливной зоны побережья Белого моря

Пробная площадь	Вид растения	Норма		Пустые		Скомканная ЦП		Без шипов на экине		Пустые, крупные		Патологическая вакуолиз. ЦП**	
		M ± S (%)	CV*	M ± S (%)	CV	M ± S (%)	CV	M ± S (%)	CV	M ± S (%)	CV	M ± S (%)	CV
1ПП	<i>Tripolium pannonicum</i> (Jacq.) Dobrocz.	75,8 ± 15,7	20,7	24,0 ± 2,9	12,1	1,2 ± 0,8	66,7	0,8 ± 0,8	100,0	–	–	–	–
2ПП	<i>Tripolium pannonicum</i> (Jacq.) Dobrocz.	82,8 ± 5,6	6,8	14,8 ± 2,4	16,2	3,8 ± 1,5	39,5	1,8 ± 1,3	72,2	–	–	–	–
3ПП	<i>Tripolium pannonicum</i> (Jacq.) Dobrocz.	88,0 ± 10,5	11,9	11,6 ± 2,3	19,8	2,0 ± 1,6	80,0	1,2 ± 0,6	50,0	–	–	–	–
4ПП	<i>Tripolium pannonicum</i> (Jacq.) Dobrocz.	95,0 ± 11,1	11,7	5,0 ± 1,2	24,0	2,0 ± 1,4	70,0	2,2 ± 1,3	59,1	–	–	–	–
	<i>Plantago maritima</i> L.	58,4 ± 4,0	6,8	11,2 ± 1,9	16,9	31,0 ± 4,9	15,8	–	–	–	–	–	–
5ПП	<i>Tripolium pannonicum</i> (Jacq.) Dobrocz.	90,6 ± 3,3	3,6	6,0 ± 1,6	26,7	2,0 ± 1,2	60,0	2,8 ± 0,8	28,6	–	–	–	–
6ПП	<i>Alopecurus arundinaceus</i> Poir.	65,0 ± 6,9	10,6	16,2 ± 1,6	9,9	13,0 ± 1,6	12,3	–	–	–	–	8,6 ± 2,1	24,4
	<i>Tripolium pannonicum</i> (Jacq.) Dobrocz.	83,6 ± 7,2	8,6	16,2 ± 2,6	16,0	3,8 ± 1,5	39,5	1,6 ± 0,9	56,3	–	–	–	–
	<i>Plantago maritima</i> L.	40,4 ± 3,8	9,4	24,0 ± 3,4	14,2	–	–	–	–	2,8 ± 1,8	64,3	32,8 ± 4,7	14,3
7ПП	<i>Plantago maritima</i> L.	Цветение окончено											
8ПП	<i>Alopecurus arundinaceus</i> Poir.	67,4 ± 6,6	9,8	18,4 ± 3,8	20,7	9,8 ± 2,4	24,9	–	–	–	–	5,8 ± 1,5	25,9
9ПП	<i>Plantago maritima</i> L.	52,6 ± 3,2	6,1	11,8 ± 1,6	13,6	–	–	–	–	6,4 ± 1,1	17,2	35,2 ± 3,8	10,8

Примечание. \* CV – коэффициент вариации; \*\* ЦП – цитоплазма.

пыльцы между двумя пробами отличаются в три раза, но варьируют в пределах до 15 %. Можно предположить, что самые благоприятные условия для произрастания растений данного вида – в условиях частичного заливания и каменисто-илистого субстрата на данных пробных площадях. Полученные результаты показали, что по мере удаления от наиболее благоприятных зон для произрастания растений астры доля нормально сформированных пыльцевых зерен уменьшается, а количество тератоморфной пыльцы увеличивается. Так, для ПП 1 (условия наибольшего по продолжительности времени заливания) зафиксировано наименьшее количество пыльцы без дефектов (74,5 %), а значение CV превысило 20 %. В пробах пыльцы с ПП 1 обнаружено 23 % пустых пыльцевых зерен, на ПП 2 и 6 – около 14 %.

Подорожник морской произрастает на четырех пробных площадях трансекты (ПП 4, 6,

7 и 9). К моменту сбора цветение подорожника морского на ПП 7 закончилось. Нормально сформированные пыльцевые зерна *Plantago maritima* 6–8-поровые, сфероидальные, в очертании округлые, 20–30 мкм диаметром, скульптура поверхности мелкобугорчатая [9]. Количество нормально развитых пыльцевых зерен подорожника морского в пробах от 41 до 58,9 %. Диапазон варьирования признака не превышает 9,4 %. Наиболее часто встречающаяся аномалия развития пыльцы подорожника морского – патологическая вакуолизация цитоплазмы (30–33 %). Пыльца при исследовании с помощью светового микроскопа выглядит наполненной мелкими светящимися пузырьками, цитоплазма пеннистая, неравномерно прокрашенная. Ядро вегетативной клетки и спермии не просматриваются. От 11 до 23 % приходится на пыльцевые зерна без содержимого, изредка встречается пыльца гораздо бо-

лее крупного размера, без содержимого (3–6 %). У подорожника морского вдоль трансекты от уреза воды к зоне супралиторали, по мере сокращения степени и времени заливания, в пробах пыльцы наблюдается увеличение количества тетраоморфных пыльцевых зерен без содержимого и пыльцы с нарушением структуры цитоплазмы (патологическая вакуолизация). Меньше всего нарушений развития пыльцы зафиксировано в пробе с ПП 4.

Растения лисохвоста тростниковидного встречаются только в условиях супралиторали (ПП 6 и 8). Нормально сформированные пыльцевые зерна лисохвоста – однопоровые, эллиптические, с экватора шаровидные, с полюса овальные, размеры варьируют около 50 мкм, пора округлая. Поверхность зерна выглядит гладкой [7]. Количество нормально развитой пыльцы в пробах и значения коэффициента вариации различаются незначительно. По результатам анализа, для лисохвоста тростниковидного наиболее часто встречается аномалия развития, связанная с деградацией содержимого пыльцы (15–18 %), пыльца с комковатой цитоплазмой составляет 9–12 %, реже всего представлена патологическая вакуолизация цитоплазмы (5–8 %). На пробной площади 8, более удаленной от уреза воды, зафиксировано большее содержание пыльцы лисохвоста тростниковидного без содержимого, в то время как количество пыльцевых зерен с патологической вакуолизацией цитоплазмы и с комковатой цитоплазмой ниже практически на треть.

На исследуемой территории приливно-отливной зоны побережья, рядом с которой не обнаружено очевидных загрязнителей, для рассматриваемых видов растений получены разные данные: у астры нарушения в развитии пыльцы составляют от 9 до 25 %, у подорожника – от 41

до 59 %, у лисохвоста – от 34 до 37 %. Диапазон варьирования данного признака также различен: для астры солончаковой значение CV составляет от 4 до 20 %, для подорожника морского – от 7 до 9,5 %, для лисохвоста тростниковидного – от 9,8 до 10,6 %. Аномалии развития, наиболее часто встречающиеся и характерные для всех изучаемых растений, – пыльцевые зерна без содержимого и комковатая цитоплазма.

Сравнительный анализ качества пыльцы растений разных пробных площадей трансекты показал, что наиболее благоприятными для роста и развития *Tripolium pannonicum* и *Plantago maritima* являются условия среднего по времени заливания (средняя часть литорали), а для *Alopecurus arundinaceus* – орошения брызгами морской воды (нижняя часть супралиторали).

В результате анализа полученных данных установлено, что репродуктивное развитие изучаемых видов различается в реакции на условия произрастания. По степени адаптации к приливно-отливной динамике на уровне репродуктивной сферы их можно расположить в следующий ряд: астра солончаковая, подорожник морской, лисохвост тростниковидный.

Из трех изучаемых видов только астра солончаковая соответствует критериям вида-индикатора (имеет четко выраженную количественную и качественную реакцию на факторы среды, характерна для данной природной зоны и распространена повсеместно, с хорошо изученной биологией) и может быть рекомендована для проведения палиноиндикационного анализа не только для оценки состояния растений данного вида на приливно-отливной зоне, но и для отслеживания степени влияния антропогенного фактора в прибрежной зоне побережья Белого моря.

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

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарь Л. М., Частокленко Л. В. Микроспорогенез как один из возможных биоиндикаторов загрязняющего воздействия автотрассы // Биологические науки. 2002. № 5. С. 79–84.
2. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: Недра, 2006. 198 с.
3. Круглова А. Е. Оценка качества пыльцевых зерен в зрелых пыльниках остролодочника сходного в условиях интродукции // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2011. Вып. 1. С. 67–75.
4. Марковская Е. Ф., Елькина Н. А., Сонина А. В. Оценка состояния пыльцевых зерен у растений приливно-отливной зоны побережья Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2013. № 8 (137). С. 7–10.
5. Носкова Н. Е., Третьякова И. Н. Влияние стресса на репродуктивные способности сосны обыкновенной // Хвойные boreальной зоны. 2006. № 3. С. 54–63.
6. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1980. 304 с.
7. Пунсалмапуу Г., Гэгээнсүвдц Ц., Менхзул Т., Золбаяр Д., Сайндовдон Д., Сангидорж Б. Морфологические особенности пыльцевых зерен некоторых родов злаковых (Poaceae Barnhart) // Вестник Бурятского государственного университета. 2012. С. 255–258.
8. Тихонова И. В. Морфологические признаки пыльцы в связи с состоянием деревьев сосны в сухой степи // Лесоведение. 2005. № 1. С. 63–68.

9. Эр д т м а н Г. Морфология пыльцы и систематика растений (Введение в палинологию). I. Покрытосеменные. М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. 486 с.
10. Cornellissen J. Y. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S. et al. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian Journ. of Botany. 2003. Vol. 51. P. 335–380.
11. Punt W., Hoен P. P. *Asteraceae – Asteroideae*. The Northwest European Pollen Flora // Review of Palaeobotany and Palynology. 2009. Vol. 10. P. 22–183.

**El'kina N. A.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Karpova E. E.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

### PALINO-INDICATION METHOD IN THE ESTIMATION OF THE WHITE SEA MARINE PLANTS' ADAPTIVE ABILITY

A study (2014 year) of the adaptive ability of the salt marsh species *Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz. subsp. *tripolium* (L.) Greuter., *Plantago maritima* L. s. str., *Alopecurus arundinaceus* Poir., growing in the tidal zone of the western coast of the White Sea near the mouth of Keret' river (Louchi region, Karelia) was conducted. The state of the pollen grain in the inflorescences of these species during the period of maximum blossoming was studied. The applicable abnormality in the pollen grains' structure for all three species on all plots were observed correspondently: for *Tripolium pannonicum* subsp. *tripolium* – from 9 up to 25 %, for *Plantago maritima* – from 41 up to 59 %, and for *Alopecurus arundinaceus* – from 34 up to 37 %. The estimation of variations in the amount of normally formed pollen grains revealed different adaptation levels of the investigated plants to the tidal conditions. Thus, the above investigated plants can be arranged in the follow order according to their resilience to the dynamic habitat conditions: *Tripolium pannonicum* subsp. *tripolium* – *Plantago maritima* – *Alopecurus arundinaceus*. *Tripolium pannonicum* subsp. *tripolium* has features of indicator species and can be recommended for palinoindication analysis.

Key words: pollen-grains, imperfect pollen grains, bioindicator, adaptive ability, tidal zone, White Sea

#### REFERENCES

1. Bondar' L. M., Chastokolenko L. V. Microsporogenesis as one of the possible effects of pollutant bioindicators highway [Mikrosporogenez kak odin iz vozmozhnykh bioindikatorov zagryaznyayushchego vozdeystviya avtotrassy]. *Biologicheskie nauki*. 2002. № 5. P. 79–84.
2. Dzyuba O. F. *Palinoindikatsiya kachestva okruzhayushchey sredy* [Indication of the quality of the environment]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2006. 198 p.
3. Kruglova A. E. Assessment of the quality of pollen grains in mature anthers of *Oxytropis ambigua* in conditions of introduction [Otsenka kachestva pyl'tsevykh zeren v zrelykh pyl'nikakh ostrolodochnika skhodnogo v usloviyakh introduktsii]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle*. 2011. Issue 1. P. 67–75.
4. Markovskaya E. F., El'kina N. A., Sonina A. V. Assessment of pollen grains state in tidal zone plants the White sea coast [Otsenka sostoyaniya pyl'tsevykh zeren rasteniy prilivno-otlivnoy zony poberezh'ya Belogo morya]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2013. № 8 (137). P. 7–10.
5. Noskova N. E., Tret'yakova I. N. The effects of stress on the reproductive capacity *Pinus sylvestris* [Vliyanie stressa na reproduktivnye sposobnosti sosny obyknovnoy]. *Khvoynye boreal'noy zony*. 2006. № 3. P. 54–63.
6. Pausheva Z. P. *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Handbook on Plant Cytology]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1980. 304 p.
7. Punsalmapuu G., Gegeensuvdts Ts., Menkhzul T., Zolbayar D., Sayndovdon D., Sangidorzh B. The morphological features of pollen grains of some genera of *Poaceae* Barnhart [Morfologicheskie osobennosti pyl'tsevykh zeren nekotorykh rodov zlakovykh (*Poaceae* Barnhart)]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012. P. 255–258.
8. Tikhonova I. V. The morphological features of pollen in relation to the state of pine trees in the desert [Morfologicheskie priznaki pyl'tsy v svyazi s sostoyaniem derev'ev sosny v sukhoy stepi]. *Lesovedenie*. 2005. № 1. P. 63–68.
9. Erdtman G. *Morfologiya pyl'tsy i sistematika rasteniy (Vvedenie v palinologiyu)*. I. Pokrytosemennye [Pollen morphology and systematics of plants (Introduction to Palynology). I. angiosperms]. Moscow, Izd-vo inostrannoy literatury, 1956. 486 p.
10. Cornellissen J. Y. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S. et al. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide // Australian Journ. of Botany. 2003. Vol. 51. P. 335–380.
11. Punt W., Hoен P. P. *Asteraceae – Asteroideae*. The Northwest European Pollen Flora // Review of Palaeobotany and Palynology. 2009. Vol. 10. P. 22–183.

Поступила в редакцию 16.11.2015

**РОМАН ВИКТОРОВИЧ ИГНАТЕНКО**

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

**ВИКТОРИЯ НИКОЛАЕВНА ТАРАСОВА**

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

**СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ ОХРАНЯЕМОГО ЛИШАЙНИКА *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM. ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ\***

Выполнена оценка состояния популяций охраняемого лишайника *Lobaria pulmonaria* в растительных сообществах южной Карелии в разных условиях антропогенной нагрузки: Петрозаводский городской округ (сильная), заказник «Заозерский» (средняя), заповедник «Кивач» (слабая). В месте обитания вида регистрировали характеристики сообщества, параметры деревьев и микроусловий. Для каждого таллома отмечали общую площадь, площадь некрозов (см<sup>2</sup>) и принадлежность к функционально-возрастной группе. Работа выполнена на основе анализа 343 талломов, растущих на 101 дереве (69 – в ПетрГО, 127 – в заказнике, 147 – в заповеднике). Показано, что с увеличением антропогенной нагрузки снижается количество форофитов и плотность популяции, увеличивается площадь талломов и площадь некрозов, в популяционном спектре возрастает доля сенильных и субсенильных особей.

Ключевые слова: *Lobaria pulmonaria*, экология, таежные растительные сообщества, южная Карелия, антропогенная нагрузка, заповедник «Кивач», городские леса

Стремительные темпы роста городов, строительство автотрасс и промышленных объектов, сведение коренных лесов и другое воздействие на окружающую среду зачастую приводят к уничтожению многих видов растений и животных. Одной из наиболее уязвимых групп организмов являются лишайники. Многие виды не возобновляются в местах, где имели место серьезные антропогенные трансформации [9]. Несмотря на это, существуют городские территории, например Петрозаводский городской округ (ПетрГО), в растительных сообществах которого произрастает редкий и охраняемый в Европе и России вид лишайника *Lobaria pulmonaria* [8].

Лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., *Lobariaceae*, *Ascomycotina*) – эпифитный листоватый макролишайник с обширным ареалом, охватывающим территории Европы, Азии (Корея, Китай, Япония), Африки и Северной Америки [3], [13]. Однако с середины XX века в Западной Европе вид находится под угрозой исчезновения [11], [17], [18]. Основную угрозу виду представляют уничтожение старовозрастных лесов и глобальное аэротехногенное загрязнение воздуха [17].

На территории Российской Федерации лобария легочная произрастает спорадически в ев-

ропейской части, на Северном и Среднем Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке (на Камчатке и о. Сахалин, в Приморском и Хабаровском краях). Несмотря на то что вид занесен в Красные книги различного ранга (Российской Федерации (2008), Восточной Финноскандии (1998), Республики Карелия (2007) и др.), существует мнение об отсутствии реальной угрозы виду на территории Республики Карелия и о том, что никаких особых мер по его сохранению в настоящее время и в ближайшем будущем не требуется [10]. Таким образом, на данный момент остро стоит вопрос о статусе охраны лобарии легочной в Красной книге Республики Карелия и мерах по сохранению вида в данном регионе.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Работа выполнена на территории южной Карелии в лесных сообществах подзоны средней тайги, отличающихся уровнем антропогенной нагрузки: естественные городские леса, примыкающие к жилой застройке Петрозаводска (ПетрГО); заказника «Заозерский», граничащие с городским округом; заповедника «Кивач», находящиеся в 60 км к северу от Петрозаводска и не испытывающие прямого антропогенного воздействия (рис. 1).

Петрозаводск – столица Республики Карелия, промышленный, транспортный и туристический центр, крупнейший город Северо-Западного федерального округа России, расположен на юго-западном берегу Онежского озера (61°50′ с. ш., 34°20′ в. д.) [1]. Площадь города – 113,0 км<sup>2</sup>; население – 266,2 тыс. человек [5]. Естественные зеленые насаждения ПетрГО представлены в основном лесными массивами (ельниками, сосняками, осинниками), площадь которых составляет ~6933,3 га. На территории округа находятся два природоохранных объекта: Ботанический сад ПетрГУ (367 га) и часть природного заказника «Заозерский» (400 га).

Ландшафтный заказник «Заозерский» (площадь 2700 га, основан в 1991 году) расположен на западном берегу Онежского озера, полуострове Бараний Берег. В структуре лесного покрова заказника преобладают еловые и сосновые леса, доля которых примерно одинакова. Березняки и ольшаники занимают около 9 % лесной площади [2].

Государственный природный заповедник «Кивач» (62°20′ с. ш., 34°00′ в. д.) располагается в северо-западной части Заонежского полуострова. Заповедник (площадь 10,45 тыс. га, основан в 1931 году) представляет собой лесной массив протяженностью 12 км с севера на юг, 14 км с запада на восток, ограниченный озерами. Леса занимают около 90 % его территории. Преоблада-

ют хвойные насаждения, при этом сосновые леса составляют 42 %, еловые – 32 %, лиственные – 7 % от площади заповедника [16].

Для изучения состояния популяции *L. pulmonaria* использован маршрутный метод. Маршруты разрабатывались предварительно по космическим снимкам лесных сообществ таким образом, чтобы максимально охватить территорию ПетрГО и все типы растительных сообществ. Было исследовано 6 маршрутов: 4 маршрута в лесах ПетрГО (общая протяженность ~39 км); один маршрут в заказнике «Заозерский» (3 км); один маршрут в центральной части заповедника «Кивач» (1,5 км). В месте обитания вида регистрировали характеристики сообщества: тип леса, сомкнутость крон (сквозистомером Ипатова), сумму площадей сечений стволов деревьев (полнотомером Биттерлиха); параметры деревьев: породу, возраст (возрастным буравом), высоту (экклиметром), диаметр ствола у основания и на высоте 130 см (рулеткой); параметры микроусловий: экспозицию ствола (компасом), высоту над землей (рулеткой), угол наклона поверхности ствола (горным компасом). Для каждого таллома при помощи рамки 25 × 25 см отмечали общую площадь и площадь некрозов (см<sup>2</sup>), а также принадлежность к функционально-возрастной группе по методике И. Н. Михайловой (2005): стерильные, гипосоредиозные, мезосоредиозные, гиперсоредиозные, фертильные, субсенильные, сенильные. Статистическая обработка результатов выполнена на основе регрессионного и однофакторного дисперсионного анализа [7].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа выполнена на основе анализа 343 талломов лобарии легочной, растущих на 101 дереве (69 – в ПетрГО, 127 – в заказнике, 147 – в заповеднике). Было установлено, что на территории ПетрГО *L. pulmonaria* встречается в лесных сообществах трех формаций: ельниках (черничных влажных, черничных свежих), а также во вторичных лесах – осинниках и березняках (разнотравно-черничных) (табл. 1). Наибольшее число талломов (51; 74 %) встречается в ельниках черничных свежих с участием осины. В осинниках и березняках было обнаружено всего 10 (14 %) и 2 (3 %) таллома соответственно, что, вероятно, связано с отсутствием здесь подходящих условий для заселения и роста данного вида, прежде всего старых деревьев осины. В растительных сообществах ландшафтного заказника «Заозерский» все 127 талломов *L. pulmonaria* были обнаружены в ельниках черничных свежих. В заповеднике «Кивач» вид обитает в четырех типах сообществ, 3 из которых относятся к ельникам,

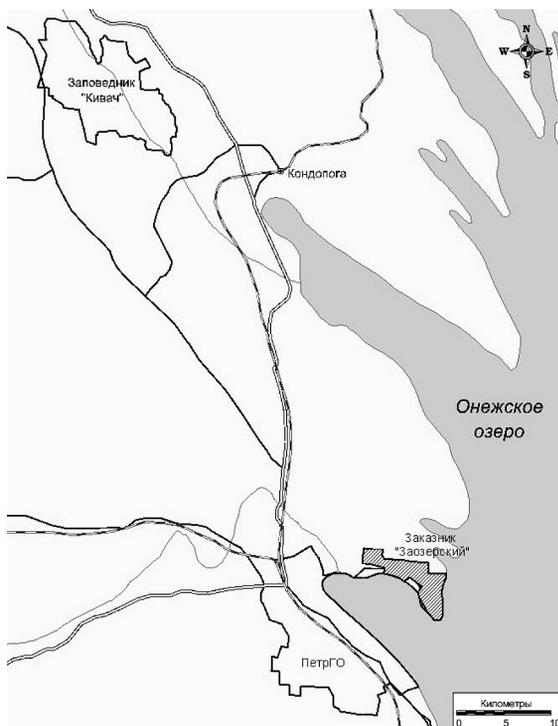


Рис. 1. Районы исследования популяций лишайника *L. pulmonaria*

Основные характеристики изученных сообществ

Таблица 1

Тип леса	Формула древостоя	Сумма площадей сечения древостоя, м <sup>2</sup> га <sup>-1</sup>	Доля участия осины в древостое, %	Сомкнутость крон, %	Число талломов лобарии легочной	Средняя площадь таллома, см <sup>2</sup>
г. Петрозаводск						
Ельник черничный влажный	4Е3О3Б	40	29	71	6	116 ± 44
Ельник черничный свежий	4Е4О2Б	21	41	48	51	102 ± 20
Осинник разнотравно-черничный	6О4Е	30	55	60	10	236 ± 88
Березняк разнотравно-черничный	5Б3С1Е1О	24	10	65	2	116 ± 102
Заказник «Заозерский»						
Ельник черничный свежий	5Е3О1Б1С	23	27	55	127	68 ± 6
Заповедник «Кивач»						
Ельник кисличный	6Е3О1Б	21	33	65	46	76 ± 24
Ельник черничный влажный	9Е1Б	23	4	40	16	92 ± 53
Ельник черничный свежий	7Е2О1Б	24	21	40	54	32 ± 5
Осинник разнотравно-черничный	5Е3О1Б1И	14	30	45	31	83 ± 30

1 – к осинникам. Наибольшее число талломов было обнаружено в ельниках черничных свежих (54; 37 %) и ельниках кисличных (46; 31 %), наименьшее – в ельниках черничных влажных (16; 11 %). Последнее, вероятно, объясняется меньшей долей участия осины в древостое. Во вторичных лесах, восстанавливающихся после нарушений, – осинниках, несмотря на значительное участие осины в древостое, было обнаружено меньше талломов (31; 21 %), чем в еловых сообществах. Возраст изученных лесов ПетрГО составляет ~90–110 лет, заказника «Заозерский» ~140–160 лет, заповедника «Кивач» ~180–200 лет.

Согласно литературным источникам, в средней подзоне тайги лобария легочная чаще все-

го встречается в травяных и травяно-черничных лесах [10], что подтверждает полученные данные.

Установлено, что с увеличением антропогенной нагрузки снижается разнообразие форофитов, на которых обитает лобария (табл. 2). В растительных сообществах ПетрГО лишайник растет только на осине (*Populus tremula*), на территории заказника – на осине (*Populus tremula*), рябине (*Sorbus aucuparia*) и иве (*Salix caprea*), в заповеднике «Кивач» – к перечисленным форофитам добавляется береза (*Betula* sp.). Кроме того, лобария обитает как на корке, так и древесине мертвых деревьев: сухостое (в ПетрГО и заповеднике) и валеже осины (в заказнике и за-

Субстраты *L. pulmonaria* в районах исследования

Таблица 2

Район исследования	Субстрат	Число стволов	Число талломов	Средняя площадь талломов, см <sup>2</sup>
ПетрГО	<i>Populus tremula</i> (живая)	41	67	125,6 ± 21,1
	<i>Populus tremula</i> (сухой)	2	2	103,1 ± 3,1
Заказник «Заозерский»	<i>Populus tremula</i> (живая)	39	113	68,6 ± 6,9
	<i>Populus tremula</i> (валеж)	1	4	50 ± 13,5
	<i>Salix caprea</i> (живая)	1	8	48,8 ± 22,1
	<i>Sorbus aucuparia</i> (живая)	1	2	146,9 ± 46,9
Заповедник «Кивач»	<i>Populus tremula</i> (живая)	8	85	65,8 ± 16,4
	<i>Populus tremula</i> (валеж)	1	4	5,5 ± 0,8
	<i>Populus tremula</i> (сухой)	1	21	70,5 ± 27,2
	<i>Salix caprea</i> (живая)	1	8	178,5 ± 94,7
	<i>Salix caprea</i> (валеж)	1	12	6,6 ± 1,4
	<i>Sorbus aucuparia</i> (живая)	1	11	99,1 ± 39,2
	<i>Betula</i> sp. (живая)	1	6	20,8 ± 5,1

поведнике), валеже ивы (в заповеднике). Во всех исследуемых растительных сообществах лобария легочная чаще всего встречалась на осине: в ПетрГО на этом форофите обитали 69 (100 %) талломов, заказнике «Заозерский» – 117 (92 %), заповеднике «Кивач» – 110 (75 %).

Полученные данные совпадают с литературными, из которых известно, что в таежных экосистемах европейской части России (Костромская область, Республика Карелия, Республика Коми) лобария легочная заселяет многие породы деревьев, но в качестве основного ее форофита выступает осина [6], [10], [14].

Возраст деревьев осины, на которых обитает *L. pulmonaria*, варьирует от 66 до 151 года в пределах ПетрГО, 55–157 лет – в заказнике и 95–175 лет – в заповеднике. Средний возраст осины с лобарией в первых двух районах исследования практически совпадает и составляет ~100 лет, в заповеднике он повышается до 142 лет. Таким образом, талломы *L. pulmonaria* могут быть обнаружены с большой вероятностью на стволах старых деревьев, чем на молодых. Скорее всего, это объясняется требованиями данного вида к условиям местообитания (прежде всего – к повышенной влажности и, вероятно, к структуре поверхностных тканей ствола), а также увеличением времени, достаточного для заселения и роста талломов на деревьях более старшего возраста.

На положительную связь количественных показателей лобарии с возрастом форофита указывают и другие исследователи. Так, в растительных сообществах Республики Коми молодые талломы *L. pulmonaria* начинают заселять деревья осины, достигшие возраста 70–80 лет [15]. В подзоне средней тайги Республики Карелия *L. pulmonaria* успешно осваивает производные леса возраста 50 и более лет [10].

Лишайник на территории ПетрГО (рис. 2а) и в заказнике «Заозерский» (рис. 2б) обитает преимущественно на северных, северо-восточных и восточных экспозициях ствола, где обна-

ружено 75 % и 66 % талломов соответственно. Это подтверждает факт того, что для успешного произрастания вида большее значение имеет отсутствие прямого солнечного света, чем обеспеченность теплом [10]. В заповеднике «Кивач» наблюдается более равномерное распределение талломов по отношению к сторонам света (рис. 2с), что объясняется более выровненными условиями влажности и освещенности под пологом лесных сообществ, близких к малонарушенным.

Плотность популяции лобарии легочной в растительных сообществах ПетрГО составляет 1,8 таллома на 1 км маршрута, в заказнике – 42,3, в заповеднике – 98. Величина площади таллома наиболее широко варьирует в заповеднике – от 1 до 1100 см<sup>2</sup> (рис. 3а); в ПетрГО этот диапазон составляет 3–975 см<sup>2</sup>, в заказнике 3–405 см<sup>2</sup>. Свыше 38 % всех талломов в ПетрГО, 57 % в заказнике и 72 % в заповеднике имеют небольшую площадь – от 0 до 50 см<sup>2</sup>.

Средняя площадь (рис. 4а) и площадь некротов (рис. 4б) талломов в растительных сообществах ПетрГО значимо выше (123 см<sup>2</sup>, 26 см<sup>2</sup> соответственно), чем в заказнике (68 см<sup>2</sup>, 8 см<sup>2</sup>) и заповеднике (67 см<sup>2</sup>, 5 см<sup>2</sup>).

Частотный анализ площади талломов (рис. 3б) показал, что распределение этого признака соответствует логнормальному. В ПетрГО и заказнике значения площади талломов распределены с левосторонней, а в заповеднике – с правосторонней асимметрией, что объясняется преобладанием в последнем популяции молодых некротов талломов. В лесных сообществах ПетрГО и заказника также преобладают молодые особи, однако доля старых крупных талломов намного выше, чем в заповеднике. Во всех районах исследования вершина кривой распределения сильно поднимается и заостряется, что указывает на положительный эксцесс. Полученные данные подтверждают тем, что коэффициенты асимметрии и эксцесса в ПетрГО (9,35; 17,16 соответственно), в заказнике (8,19; 8,27) и заповеднике (24,33; 67,55) значимо

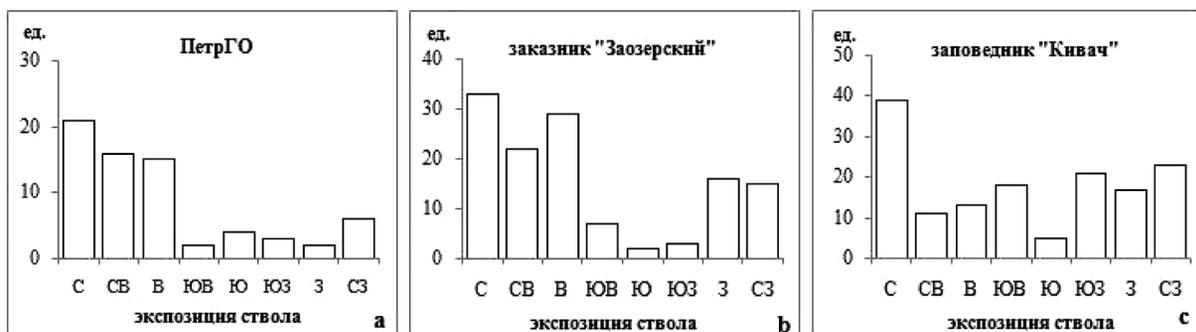


Рис. 2. Число талломов *L. pulmonaria* на стволах осины на разных экспозициях по отношению к сторонам света в трех районах исследования

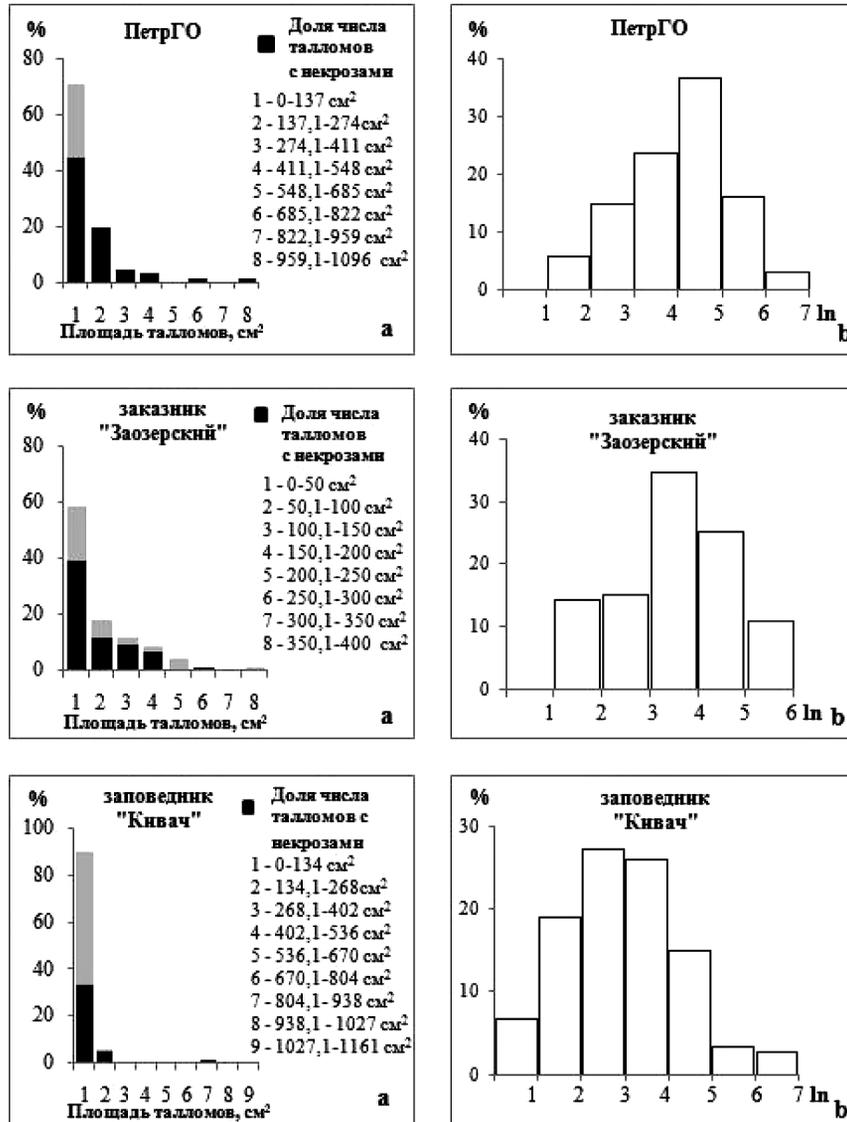


Рис. 3. Распределение числа талломов *L. pulmonaria* (%) по площади (a) и по натуральному логарифму площади (b) в разных местообитаниях

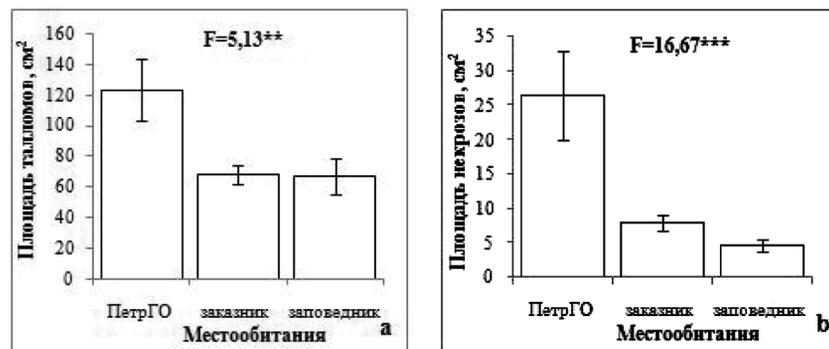


Рис. 4. Средняя площадь (a) и площадь некрозов (b) талломов *L. pulmonaria* в разных местообитаниях

отличаются от нуля (табличное значение критерия Стьюдента составляет  $T(0,05; 69) = 1,99$ ;  $T(0,05; 127) = 1,96$ ;  $T(0,05; 147) = 1,96$  соответственно).

Изучение популяционной структуры показало, что популяция лобарии в растительных сообществах ПетрГО является неполночленной, в ней отсутствуют фертильные талломы, преоб-

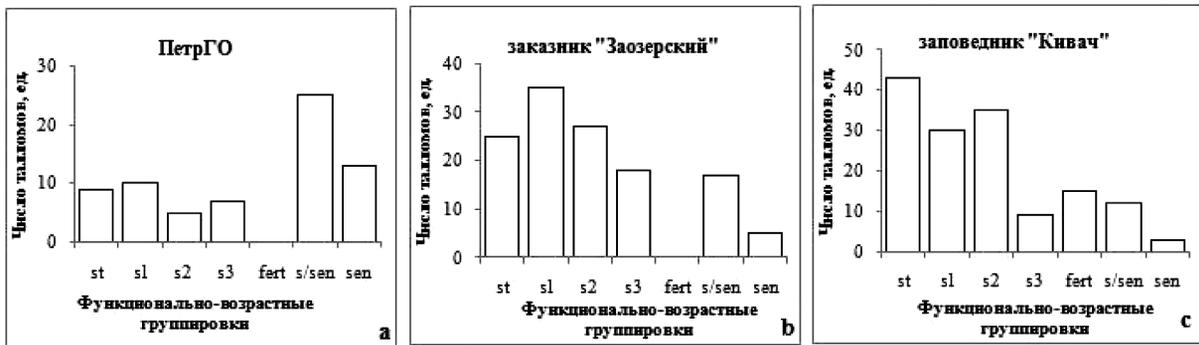


Рис. 5. Число талломов *L. pulmonaria*, относящихся к разным функционально-возрастным группировкам, в разных местах обитания

ладают субсенильные (36 %) и сенильные (19 %) особи (рис. 5a). В заказнике были обнаружены все функционально-возрастные группы, кроме фертильной. В составе популяции возрастает доля молодых талломов (стерильных 25 %, гипосоредиозных 27 %), сокращается доля субсенильных (13 %) и сенильных (4 %) (рис. 5b).

В заповеднике «Кивач» лобария легочная формирует полночленную популяцию с преобладанием молодых талломов – стерильных (29 %), гипосоредиозных (24 %) и мезосоредиозных (20 %) с минимальной долей субсенильных (8 %) и сенильных (2 %) особей, 10 % талломов являются фертильными (рис. 5c).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*L. pulmonaria* на территории ПетрГО произрастает локально и только на одном виде форофита – осине обыкновенной. Ее талломы не образуют больших скоплений на одном стволе дерева и в основном представлены единично. В связи с этим плотность популяции лишайника в ПетрГО достаточно низка. Популяционный спектр является неполночленным, больше половины занимают старые особи с высокой степенью некрозов и частичным разрушением талломов.

Отсутствие коренных старовозрастных ельников, вырубка лесов в связи со строительством новых жилых микрорайонов, а также загрязнение атмосферного воздуха в ПетрГО [4] приводят к тому, что вид, по-видимому, находится на грани своей экологической пластичности. Поэтому любые изменения условий, влияющих на произрастание вида, могут стать катастрофическими для продолжения существования лобарии легочной в растительных сообществах ПетрГО [8].

В растительных сообществах заказника «Заозерский» лобария произрастает на разных видах форофитов. В популяционном спектре, в отличие от города, возрастает количество молодых талломов, снижается доля субсенильных и сенильных особей, увеличивается плотность популяции. Но

при этом в популяционном спектре отсутствуют фертильные особи, 65 % талломов имеют некротические образования.

На территории заповедника «Кивач» обследованная популяция вида *L. pulmonaria* обладает высокой плотностью, широко распространена в зрелых еловых сообществах с участием старых деревьев осины. Изученная популяция лобарии легочной является полночленной, в ней присутствуют фертильные особи, она обладает хорошим потенциалом для дальнейшего развития и успешного существования на изученной территории [19].

Таким образом, для оценки состояния *L. pulmonaria* в различных растительных сообществах данных только о числе талломов и их размерах недостаточно. Анализ популяционной структуры на основе построения спектра числа талломов, относящихся к разным функционально-возрастным группировкам, позволяет наиболее точно определить текущее состояние вида и сделать выводы о его перспективах развития в будущем.

Популяция лобарии в пригородных лесах Петрозаводска находится под угрозой исчезновения. В связи с этим данные лесные массивы (микрорайоны Древлянка и Кукковка) при планировании развития города рекомендованы к сохранению. Такие меры, возможно, позволят сохранить популяцию охраняемого лишайника *L. pulmonaria*, а также растительные сообщества, которые на данный момент служат в качестве ядер экологического каркаса города [12].

Выражаем благодарность сотруднику Лаборатории экологической физиологии растений Института биологии КарНЦ РАН А. А. Игнатенко, Региональной общественной природоохранной организации «СПОК» за помощь в сборе полевого материала, а также ведущему специалисту Национального парка «Водлозерский» М. А. Шредерс за помощь в подготовке картографического материала.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андросова В. И. Характеристика города Петрозаводск // Растения и лишайники города Петрозаводск (аннотированные списки видов). Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. С. 8–12.
2. Антонова Р. Ф., Горлов В. И., Ицексон С. М., Потахин С. Б., Семенов В. Н., Шелехов А. М. Природные особенности и функциональное зонирование ландшафтного заказника «Заозерский» (Южная Карелия) // География и природные ресурсы. 1994. № 3. С. 107–112.
3. Головки Т. К., Далькэ И. В., Захожий И. Г., Малышев Р. В., Шелякин М. А., Табаленкова Г. Н., Дымова О. В. Экофизиология листоватого лишайника *Lobaria pulmonaria* в среднетаежной зоне на европейском северо-востоке России // Лихенология в России: актуальные проблемы и перспективы исследований: Программа и труды Второй Международной конференции, посвященной 300-летию Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН и 100-летию Института споровых растений (Санкт-Петербург, 5–8 ноября 2014 г.). СПб., 2014. С. 69–74.
4. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2013 году / Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия. Петрозаводск, 2014. 300 с.
5. Демографический ежегодник Республики Карелия: Стат. сб. / Карелиястат. Петрозаводск, 2007. 88 с.
6. Иванова Н. В., Немчинова А. В., Грозовский С. А. Перспективы существования популяций *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в различных типах лесных сообществ Костромской области // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. 2011. № 1. С. 7–10.
7. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2011. 302 с.
8. Игнатенко Р. В., Тарасова В. Н. Состояние популяции охраняемого лишайника лобария легочная (*Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) в растительных сообществах Петрозаводского городского округа // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 8 (145). Т. 2. С. 26–30.
9. Истомина Н. Б. Использование метода трансплантации для восстановления численности лишайников *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. (Stictaceae) в Европейской части России // Флора лишайников России: состояние и перспективы исследований: Труды международного совещания, посвященного 120-летию со дня рождения Всеволода Павловича Савича. СПб., 2006. С. 112–116.
10. Кравченко А. В., Фадеева М. А. Распространение и состояние лобарии легочной (*Lobaria pulmonaria*) на юго-востоке Фенноскандии // Международное совещание «Лишайники бореальных лесов» и Четвертая российская полевая лихенологическая школа. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2008. С. 60–74.
11. Михайлова И. Н. Анализ субпопуляционных структур эпифитных лишайников (на примере *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачева. 2005. № 1. Вып. 9. С. 124–134.
12. Подгорная М. Н., Тарасова В. Н., Марковская Н. В., Марковская Е. Ф. Ценные лесные территории Петрозаводского городского округа // Принципы экологии. 2013. № 1. С. 51–60.
13. Поташева М. А., Кравченко А. В. Охраняемый лишайник лобария легочная в национальном парке «Водлозерский»: распространение и приуроченность // Природное и культурное наследие Водлозерского национального парка. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1995. С. 151–156.
14. Пыстина Т. Н., Семенова Н. А. Экологические особенности лишайника *Lobaria pulmonaria* (Lobariaceae) в Республике Коми // Ботанический журнал. 2009. Т. 94. № 1. С. 48–58.
15. Семенова Н. А. Некоторые характеристики деревьев-форофитов лишайника *Lobaria pulmonaria* в таежных лесах Республики Коми // Материалы докладов пятнадцатой Коми республиканской молодежной научной конференции: В 2 т. Одиннадцатая молодежная научная конференция Института биологии Коми НЦ УрО РАН «Актуальные проблемы биологии и экологии». Сыктывкар, 2004. Т. 2. С. 267–269.
16. Херманссон Я. - О., Тарасова В. Н., Степанова В. И., Сони́на А. В. Анализ лишенобиоты заповедника «Кивач» (Южная Карелия) // Труды Первой Российской лихенологической школы, Апатиты (6–12 август 2000 г.). Петрозаводск, 2001. С. 251–264.
17. Gauslaa Y. The Lobarion, an epiphytic community of ancient forests threatened by acid rain // Lichenologist. 1995. № 27. P. 59–76.
18. Scheidegger C., Bilovitz P. O., Werth S., Widmer I., Mayrhofer H. Hitchhiking with forests: population genetics of the epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* in primeval and managed forests in southeastern Europe // Ecology and Evolution. 2012. Vol. 2(9). P. 2223–2240.
19. Zoller S., Lutzoni F., Scheidegger C. Genetic variation within and among populations of the threatened lichen *Lobaria pulmonaria* in Switzerland and implications for its conservation // Molec. Ecol. 1999. Vol. 8. P. 2049–2059.

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

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

**POPULATION OF THREATENED LICHEN *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM. IN FOREST COMMUNITIES OF SOUTH KARELIA AT DIFFERENT LEVELS OF ANTHROPOGENIC LOAD**

In the present study, the status of populations of threatened species *Lobaria pulmonaria* found in forest communities of southern Karelia was evaluated at different levels of anthropogenic load: Petrozavodsk city (strong), the Nature reserve “Zaozerskii” (medium), and the Nature reserve “Kivach” (weak). In the habitats of the species in focus, characteristics of the communities, parameters of the trees and microenvironment were registered. For each lichen thalli the following values were assessed: the total area, the area of necrosis and affiliation with the functional-age group. The study was carried out on the basis of the analysis of 343 thalli growing on 101 trees (69 – from Petrozavodsk, 127 – from “Zaozerskii”, 147 – from “Kivach”). According to the results of the study, with the increase of anthropogenic load the number of forophytes and the density of population reduce, the area of thalli, the area of thalli necrosis as well as the proportion of senile and subsenile individuals in the spectrum of the population increase.

Key words: *Lobaria pulmonaria*, ecology, boreal forest communities, south Karelia, anthropogenic load, Nature reserve “Kivach”, urban forests

## REFERENCES

1. Androsova V. I. Characteristic of the city of Petrozavodsk [Kharakteristika goroda Petrozavodsk]. *Rasteniya i lishayniki goroda Petrozavodsk (annotirovannye spiski vidov)* [Plants and lichens of the city of Petrozavodsk (the annotated lists of species)]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2010. P. 8–12.
2. Antonova R. F., Gorlov V. I., Itsekson S. M., Potakhin S. B., Semenov V. N., Shelekhov A. M. Natural features and functional zoning of the landscape reserve “Zaozerskii” (South Karelia) [Prirodnye osobennosti i funktsional'noe zonirovaniye landshaftnogo zakaznika “Zaozerskii” (Yuzhnaya Kareliya)]. *Geografiya i prirodnye resursy*. 1994. № 3. P. 107–112.
3. Golovko T. K., Dal'ke I. V., Zakhozhiy I. G., Malyshev R. V., Shelyakin M. A., Tabalenkova G. N., Dimova O. V. Ecophysiology of foliated lichen *Lobaria pulmonaria* the average taiga zone on the European northeast of Russia [Ekofiziologiya listovatogo lishaynika *Lobaria pulmonaria* v srednetaezhnoy zone na evropeyskom severo-vostoke Rossii]. *Likhenologiya v Rossii: aktual'nye problemy i perspektivy issledovaniy: Programma i trudy Vtoroy Mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 300-letiyu Botanicheskogo instituta im. V. L. Komarova RAN i 100-letiyu Instituta sporovykh rasteniy (Sankt-Peterburg, 5–8 noyabrya 2014 g.)*. St. Petersburg, 2014. P. 69–74.
4. *Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy Respubliki Kareliya v 2013 godu* [State report on the environment of the Republic of Karelia in 2013]. Petrozavodsk, 2014. 300 p.
5. *Demograficheskiy ezhegodnik Respubliki Kareliya: Stat. sb.* [Demographic yearbook of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk, 2007. 88 p.
6. Ivanova N. V., Nemchinova A. V., Grozovskiy S. A. Perspectives of existence of the populations *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. in different types of forest communities of Kostroma region [Perspektivy sushchestvovaniya populyatsiy *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. v razlichnykh tipakh lesnykh soobshchestv Kostromskoy oblasti]. *Vestnik KGU im. N. A. Nekrasova*. 2011. № 1. P. 7–10.
7. Ivantsev E. V., Korosov A. V. *Vvedenie v kolichestvennyuyu biologiyu* [Introduction to quantitative biology]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2011. 304 p.
8. Ignatenko R. V., Tarasova V. N. State of the population of the protected lichen *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. in the plant communities of Petrozavodsk [Sostoyaniye populyatsii okhranyaemogo lishaynika *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. v rastitel'nykh soobshchestvakh Petrozavodskogo gorodskogo okruga]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2014. № 8 (145). Vol. 2. P. 26–30.
9. Istomina N. B. The applying of the transplanted method for restore the number of lichens *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. (Stictaceae) in the European part of Russia [Ispol'zovanie metoda transplantatsii dlya vosstanovleniya chislennosti lishaynikov *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. (Stictaceae) v Evropeyskoy chasti Rossii]. *Flora lishaynikov Rossii: sostoyaniye i perspektivy issledovaniy: Trudy mezhdunarodnogo soveshchaniya, posvyashchennogo 120-letiyu so dnya rozhdeniya Vsevoloda Pavlovicha Savicha*. St. Petersburg, 2006. P. 112–116.
10. Kravchenko A. V., Fadeeva M. A. Distribution and condition of *Lobaria pulmonaria* on the south-east Fennoscandia [Rasprostraneniye i sostoyaniye lobarii legochnoy (*Lobaria pulmonaria*) na yugo-vostoke Fennoskandii]. *Mezhdunarodnoye soveshchaniye “Lishayniki boreal'nykh lesov” i Chetvertaya rossiyskaya polevaya likhenologicheskaya shkola*. Syktyvkar, 2008. P. 60–74.
11. Mikhaylova I. N. The analysis of the subpopulation structures epiphytic lichens (the case of *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.) [Analiz subpopulyatsionnykh struktur epifitnykh lishaynikov (na primere *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.)]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobacheva* [Newsletter of Nizhny Novgorod University of N. I. Lobachev]. 2005. № 1. Issue 9. P. 124–134.
12. Podgornaya M. N., Tarasova V. N., Markovskaya N. V., Markovskaya E. F. Valuable forest areas of Petrozavodsk [Tsennyye lesnye territorii Petrozavodskogo gorodskogo okruga]. *Printsipy ekologii* [Principles of ecology]. 2013. № 1. P. 51–61.
13. Potasheva M. A., Kravchenko A. V. Protected lichen *Lobaria pulmonaria* in the national park “Vodlozersky”: distribution and confinement [Okhranyaemyy lishaynik *Lobaria pulmonaria* v natsional'nom parke “Vodlozerskiy”: rasprostraneniye i priurochennost']. *Prirodnoye i kul'turnoe nasledie Vodlozerskogo natsional'nogo parka*. Petrozavodsk, 1995. P. 151–156.
14. Pystina T. N., Semanova N. A. Ecological features of lichen *Lobaria pulmonaria* (Lobariaceae) in the Republic of Komi [Ekologicheskie osobennosti lishaynika *Lobaria pulmonaria* (Lobariaceae) v Respublike Komi]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical journal]. 2009. Vol. 94. № 1. P. 48–58.
15. Semanova N. A. Some characteristics of phorophyte trees of *Lobaria pulmonaria* lichen in the taiga woods of the Komi Republic [Nekotorye kharakteristiki derev'ev-forofitov lishaynika *Lobaria pulmonaria* v taizhnykh lesakh Respubliki Komi]. *Materialy dokladov pyatnadtsatoy Komi respublikanskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii: V 2 t. Odinnadtsataya molodezhnaya nauchnaya konferentsiya Instituta biologii Komi NTs UrO RAN “Aktual'nye problemy biologii i ekologii”* [Materials of reports of the fifteenth Komi Republican Youth Scientific Conference: in 2 vol. Eleventh Youth Scientific Conference of the Institute of Biology of Komi Scientific Center of the Ural Department of the Russian Academy of Sciences “Current problems of biology and ecology”]. Syktyvkar, 2004. Vol. 2. P. 267–269.
16. Khermansson Ya. - O., Tarasova V. N., Stepanova V. I., Sonina A. V. Analysis of lichen biota of the reserve “Kivach” (South Karelia) [Analiz likhenobioty zapovednika “Kivach” (Yuzhnaya Kareliya)]. *Trudy Pervoy Rossiyskoy likhenologicheskoy shkoly Apatity (6–12 avgust 2000 g.)*. Petrozavodsk, 2001. P. 251–264.
17. Gaussla Y. The Lobarion, an epiphytic community of ancient forests threatened by acid rain // *Lichenologist*. 1995. № 27. P. 59–76.
18. Scheidegger C., Bilovitz P. O., Werth S., Widmer I., Mayrhofer H. Hitchhiking with forests: population genetics of the epiphytic lichen *Lobaria pulmonaria* in primeval and managed forests in southeastern Europe // *Ecology and Evolution*. 2012. Vol. 2(9). P. 2223–2240.
19. Zoller S., Lutzon F., Scheidegger C. Genetic variation within and among populations of threatened lichen *Lobaria pulmonaria* in Switzerland and implications for its conservation // *Molec. Ecol.* 1999. Vol. 8. P. 2049–2059.

**ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА МАМОНТОВА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*olga.mamontova.73@mail.ru*

## ОСОБЕННОСТИ ПАРАЗИТОФАУНЫ ПАЛИИ *SALVELINUS ALPINES* L. ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Современное состояние экосистемы Ладожского озера является результатом сложного взаимодействия процессов, которые проходят на водосборе и в самом водоеме под воздействием природных и антропогенных факторов. Лососевидные рыбы имеют самый разнообразный видовой состав паразитов, зависящий от размеров водоема. В статье представлены результаты изучения паразитофауны палии в различных озерах Карелии. Были исследованы Ладожское озеро, Онежское озеро и озеро Пяозеро. Проведен сравнительный анализ паразитофауны этих озер, выявлены специфичные виды паразитов, отмечены массовые виды. Определена экстенсивность и интенсивность инвазии, отмечены различия в паразитофауне палии. Общность типологии Ладожского и Онежского озер и большое сходство их фаун вовсе не означает их идентичности. В Ладожском озере сохраняются некоторые морские реликты, которые свидетельствуют об исторических связях озера с Балтийским морем.

Ключевые слова: *Salvelinus alpinus* L., Ладожское озеро, паразитофауна, сравнительный анализ

### ВВЕДЕНИЕ

*Salvelinus alpinus* L. (палия) относится к роду голец, граница ее распространения протекает у берегов Северного Ледовитого океана. Пресноводный голец относится к циркумполярным видам рыб, чувствителен не только к температуре, но и качественному составу воды.

В Ладожском озере палия представлена двумя экологическими формами: лудной (красной) и ямной (серой). Большой частью палия распространена в глубоководной части водоема. Лишь ранней весной и в начале лета она поднимается на более мелководные участки с глубиной до 50 м. В строении тела лудная и ямная палии имеют ряд морфометрических различий. Это касается меристических и пластических признаков. Для лудной палии свойствен половой диморфизм. Ладожская палия относится к рыбам со средним жизненным циклом, обладает большим темпом линейного и весового роста. Этот темп связан с трофностью водоема. Следует отметить тот факт, что палия, в отличие от других видов рыб, не прекращает рост в зимний период.

Ладожская палия относится к малоплодовитым рыбам, размножается в сентябре – октябре при температуре воды от 11 до 6 градусов. Питание изучено слабо. Это обусловлено тем, что промысел ее ведется только в нерестовый период, когда рыба не питается. В желудках выловленных рыб была обнаружена ряпушка, корюшка и бычок-рогатка.

Следует отметить, что в довоенный период в Ладожском озере добывалось до 100 т палии, при этом естественное воспроизводство дополнялось искусственным. Промысловое стадо на протяжении многих десятилетий интенсивно облавливалось, и промысел базировался преимущественно на отлове рыб, которые пришли на нерест, то есть рыба не успевала отложить икру. Все это привело к тому, что в последующие годы вылов палии сократился более чем в 20 раз.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор и обработка материала по паразитам рыб проводилась методом полного паразитологического вскрытия [2]. Учитывались модификации, предложенные для изучения миксоспоридий, дактилогирид и гиродактилид, метацеркарий трематод [5]. Для количественной характеристики зараженности рыб использовались такие показатели, как экстенсивность зараженности, интенсивность инвазии и индекс обилия. Учитывались все группы паразитов, кроме паразитов крови [6].

При обычных паразитолого-фаунистических исследованиях водоема принято обследовать методом полного вскрытия живую или только что «уснувшую» рыбу по 15 экземпляров каждого вида. Исследование проводилось в весенне-летний период, когда фауна паразитов наиболее богата.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Палия Ладожского озера имеет в составе паразитофауны 9 видов паразитов (таблица) [4]. Она

## Паразитофауна палии

Вид паразита	Ладожское озеро (Мамонтова)	Онежское озеро (Румянцев)	Пяозеро (Румянцев, Пермяков)
<i>Trichodina</i> sp.		33/0,1	
<i>Capriniana piscium</i>		100/0,6	63/4,0
<i>Gyrodactylus</i> sp.		33/65	
<i>Dermocystidium salmonis</i>			6/+
<i>Eubotrium salvelini</i>	20/2	100/562	87/5,7
<i>Cyathocephalus truncatus</i>	26/0,46		13/0,1
<i>Proteocephalus longicollis</i>	13/0,3	13/2	20/1,3
<i>Diphyllbothrium dendriticum</i>	13/0,4	53/1	6/0,1
<i>Triaenophorus nodulosus</i>			6/0,1
<i>Triaenophorus crassus</i>		47/1	
<i>Cyathocephalus truncatus</i>	11/0,6	22/1	93/7
<i>Tylodelphys clavata</i>			31/0,6
<i>Diplostomum spathaceum</i>		31/1	
<i>Diplostomum pseudobaeri</i>	26/0,3		87/10,6
<i>Crepidostomum farionis</i>		27/2	19/0,3
<i>Cystidicoloides tenuissima</i>	20/0,2		19/0,2
<i>Cystidicola farionis</i>	93/23	13/1	96/6,0
<i>Raphidascaris acus</i>	26/0,5	60/16	6/0,2
<i>Echinorhynchus salmonis</i>	100/67	53/5	100/132
<i>Echinorhynchus borealis</i>			13/0,2
<i>Desmidocercella numidica</i>		33/4	
<i>Camallanus lacustris</i>		13/1	
<i>Camallanus truncatus</i>		27/2	
<i>Piscicola geometra</i>		13/4	
<i>Caligus lacustris</i>		47/4	
<i>Salmincola edwardsii</i>		53/4	
<i>Argulus faliaceus</i>		33/2	
Всего видов	9	19	15
Вскрыто рыб, экз.	15	15	16

Примечание. Первая цифра – %, вторая – индекс обилия (экз.).

отличается крайне слабой зараженностью цестодами *Eubotrium salvelini* и *Diphyllbothrium dendriticum*. Специфичные для нее виды моногенея *Gyrodactylus salaris* и рачок *Salmincola edwardsii* не обнаружены. Однако зараженность ее паразитами, связанными с реликтовыми ракообразными (скребень *Echinorhynchus salmonis*, нематода *Cystidicola farionis*), достигает большой величины (соответственно 100 % при средней интенсивности 67 экз. и 93 % при средней интенсивности 23 экз.).

Нами проведено сравнение паразитофауны палии из разных озер Карелии – Онежское, Ладожское и Пяозеро [1], [3], [7]. Наибольшее разнообразие паразитов (19 видов) наблюдается в Онежском озере. В Пяозере и Ладожском озере насчитывается соответственно 15 и 9 видов.

Паразитофауна палии Онежского озера характеризуется высокой зараженностью цестодами *Eubotrium salvelini* и *Diphyllbothrium dendriti-*

*um*. Для данного водоема характерно присутствие моногенеи *Gyrodactylus salaris* и рачка *Salmincola edwardsii*. Палия Онежского озера менее интенсивно заражена *Triaenophorus crassus* и *Desmidocercella numidica*.

Эти различия паразитофауны связаны с неодинаковым характером ее питания в данных озерах. Палия Онежского озера, являясь активным хищником, питается в большей мере ряпушкой и корюшкой, тогда как в Ладожском озере она в значительной степени потребляет реликтовых ракообразных.

Палия Пяозера (бассейн Белого моря) по характеру паразитофауны имеет сходство с таковой Ладожского озера [8]. Их сближает слабая зараженность цестодами и высокая зараженность скребнями. Видовой состав паразитов не отличается большим разнообразием и насчитывает 15 видов. Из эктопаразитов на жабрах присутст-

вует инфузория *Carpiniana piscium*. Палия сильно инвазирована цестодой *Eubotrium crassum*, поскольку основной ее корм – корюшка и ряпушка, которые являются промежуточными хозяевами этого паразита. Особенно большой величины достигает зараженность ее скребнем *Echinorhynchus salmonis* (100 % при средней интенсивности 132 экз.), что свидетельствует об интенсивном потреблении понтопореи. Заражение палии метацеркариями трематод *Diplostomum* происходит в раннем возрасте, пока ее молодь держится на мелководных участках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что обедненность паразитофауны палии во всех озерах, включая Ладожское озеро, находится в прямой зависимости от условий ее обитания на больших глубинах и сравнительной узости ее трофических взаимоотношений с другими гидробионтами. Различия в паразитофауне палии, отмеченные в озерах, объясняются, прежде всего, конкретными особенностями ее питания и в меньшей степени зоогеографическим положением водоемов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румянцев Е. А., Мамонтова О. В. Паразиты пресноводных рыб: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. 176 с.
2. Быховская-Павловская И. Е. Паразиты рыб: Руководство по изучению. Л., 1985. 124 с.
3. Румянцев Е. А. Паразиты рыб в озерах Европейского Севера. Петрозаводск, 2007. 250 с.
4. Мамонтова О. В. Паразитофауна палии Ладожского озера // Современные аспекты экологии и экологического образования: Тезисы докладов всероссийской научной конференции, посвященной 15-летию экологического факультета КГУ и 1000-летию Казани. Казань, 2005. С. 262–263.
5. Определитель паразитов пресноводных рыб СССР / Под ред. Б. Е. Быховского. М.; Л., 1962. 776 с.
6. Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР / Под ред. О. Н. Бауера. Л.: Наука, 1984. Т. 1. 432 с.; 1985. Т. 2. 428 с.; 1987. Т. 3. 584 с.
7. Румянцев Е. А. Фауна паразитов рыб Онежского и Ладожского озер (черты сходства и различия) // Паразитология. СПб., 2002. Т. 36. Вып. 4. С. 310–315.
8. Румянцев Е. А., Пермьяков Е. А. Паразиты рыб Пяозера // Экологическая паразитология. 1994. С. 53–78.

Mamontova O. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

## CHARACTERISTIC FEATURES OF LADOGA LAKE CHAR (*SALVELINUS ALPINES* L.) PARASITOFUNA

The present state of Lake Ladoga ecosystem results from a complex interaction of natural processes and anthropogenic impact on the lake and its water shed. Salmonid parasitofauna is characterized by its wide diversity dependent on the size of the water basin. The article presents the results of the lake char parasitofauna investigations in Karelia. We studied Ladoga lake, Onego lake and Pyozero lake, performed a comparative parasitofauna analysis of these lakes, and identified both specific and mass types of parasites. Both extensive and intensive invasions have been defined. The differences in the lake char parasitofauna have been noted. In spite of all the similarities in typology and fauna, Lake Ladoga and Lake Onego are not identical. Some marine relicts have been conserved in Lake Ladoga, which reflects definite historical links between the lake and the Baltic Sea.

Key words: *Salvelinus alpinus* L., Ladoga Lake, parasitofauna, comparative analysis

## REFERENCES

1. Rumyantsev E. A., Mamontova O. V. *Parazity presnovodnykh ryb: Uchebnoe posobie* [Freshwater fish parasites (teaching aid/textbook)]. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGY, 2008. 176 p.
2. Bykhovskaya-Pavlovskaya I. E. *Parazity ryb: Rukovodstvo po izucheniyu* [Fish parasite studies handbook]. Leningrad, 1985. 124 p.
3. Rumyantsev E. A. *Parazity ryb v ozerakh Evropeyskogo Severa* [Fish parasites in the lakes of European north]. Petrozavodsk, 2007. 250 p.
4. Mamontova O. V. Ladoga lake char parasitofauna [Parazitofauna palii Ladozhskogo ozera]. *Sovremennye aspekty ekologii i ekologicheskogo obrazovaniya: Tezisy dokladov vserossiyskoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 15-letiyu ekologicheskogo fakul'teta KGU i 1000-letiyu Kazani*. Kazan, 2005. P. 262–263.
5. *Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb SSSR* [Determinant of the USSR freshwater fish parasites] / Edit. by B. E. Bykhovskiy. Moscow, Leningrad, 1962. 776 p.
6. *Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb fauny SSSR* [Determinant of USSR freshwater fish parasites] / Edit. by O. N. Bauer. Leningrad, Nauka Publ., 1984. Vol. 1. 432 p.; 1985. Vol. 2. 428 p.; 1987. Vol. 3. 584 p.
7. Rumyantsev E. A. Onego and Ladoga Lake fish parasitofauna (similarities and differences) [Fauna parazitov ryb Onezhskogo i Ladozhskogo ozer (cherty skhodstva i razlichiya)]. *Parazitologiya*. St. Petersburg, 2002. Vol. 36. Issue 4. P. 310–315.
8. Rumyantsev E. A., Perm'yakov E. A. Parasites of Pyozero Lake fish [Parazity ryb Pyaozera]. *Ekologicheskaya parazitologiya*. 1994. P. 53–78.

Поступила в редакцию 13.11.2015

**НАТАЛЬЯ РУДОЛЬФОВНА СУНГУРОВА**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов лесотехнического института, Северный арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)  
*nsungurova@yandex.ru*

**ВИКТОР ВАСИЛЬЕВИЧ ХУДЯКОВ**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры зоологии и экологии, Северный арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)  
*vhudykov1@yandex.ru*

**АССИМИЛЯЦИОННЫЙ АППАРАТ В КУЛЬТУРАХ СОСНЫ**

В лесных экосистемах хвоя играет важную функциональную роль, которая определяется ее активностью в процессах роста и развития хвойных фитоценозов, взаимодействием с другими компонентами биогеоценозов и средой обитания. Исследование ассимиляционного аппарата в 36-летних культурах сосны на долгомошной вырубке проводилось в северо-таежном районе Архангельской области. Изучены и проанализированы биометрические и морфометрические показатели фотосинтетического аппарата сосны. Установлено, что для исследуемых искусственных насаждений созданы благоприятные условия, в которых они развиваются, достигая показателей по производительности, близких к соснякам зеленомошной группы средней подзоны тайги.

Ключевые слова: лесные культуры, сосна, ассимиляционный аппарат, крона, хвоя

**ВВЕДЕНИЕ**

В лесных экосистемах хвоя играет важную функциональную роль, которая определяется ее активностью в процессах роста и развития хвойных фитоценозов, взаимодействием с другими компонентами биогеоценозов и средой обитания [16]. С количеством хвои связана продуктивность древостоя, а также важнейшие процессы жизнедеятельности: фотосинтез, транспирация, продуцирование кислорода, аккумуляция атмосферной пыли и другие. На ранней стадии развития древостоя, когда по ходу роста еще трудно выявить накопление стволовой массы, о жизнеспособности и потенциальных возможностях формирования ценных насаждений можно судить по характеристикам развития и функционального состояния ассимиляционного аппарата деревьев [11].

Изучение ассимиляционного аппарата в культурах сосны имеет практическую значимость. Несмотря на значительную изменчивость длины и ширины хвои сосны даже в пределах кроны одного дерева, особенно в различные годы, этот признак очень характерен для одного и того же географического района, но в более или менее одинаковых условиях местообитания (в близких классах бонитета или одинаковых типах леса). Средняя длина хвои является важным диагностическим признаком вида сосны, передается по

наследству и сохраняется при перенесении его в другой физико-географический район. По длине и ширине хвои выделено много разновидностей сосны обыкновенной [18].

Одной из важных характеристик продукционного процесса фитоценозов является листовой индекс, то есть отношение поверхности листьев к единице площади. Этот показатель во многом определяет степень трансформации лесными фитоценозами факторов среды и фотосинтетическую деятельность растений [1], [6], [14], [26], [27]. Листовой индекс, по мнению ряда авторов [5], [21], [22], является наиболее удобной величиной для сравнения продуктивности биогеоценозов.

Целью работы было изучение ассимиляционного аппарата в 36-летних культурах сосны, произрастающих на долгомошной вырубке в северо-таежном районе Архангельской области.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Изучение ассимиляционного аппарата в 36-летних культурах сосны на долгомошной вырубке проводилось в северо-таежном районе Архангельской области. Искусственные молодняки создавались посадкой 2-летних стандартных сеянцев следующими способами обработки почвы: 1) пласты плуга ПКЛ-70; 2) фрезерованные полосы фрезы ФЛУ-0,8. Характеристика 36-летних культур по вариантам опыта приведена в табл. 1.

Характеристика 36-летних культур сосны

Таблица 1

Способ обработки почвы	Высота, м	Диаметр, см	Количество, шт./га	Запас, м <sup>3</sup> /га	Класс бонитета
Пласт	15,3	17,5	2336	250	II
Фрезполоса	14,7	16,3	2208	214	II

При изучении ассимиляционного аппарата использовались рекомендации и методики П. А. Феклистова и др. [24], К. С. Бобковой и др. [6]. У модельных деревьев крону размечали на три равные части (верхнюю, среднюю и нижнюю). Затем от каждой части отбирали средние по диаметру у основания и длине ветви, с которых обрывали всю хвою по годам. Оборванную хвою подсчитывали и взвешивали на электронных технических весах с точностью  $\pm 10$  мг, определяли массу средней хвоинки. Длину, ширину и толщину хвоинки измеряли электронным штангенциркулем с точностью  $\pm 0,01$  мм. Данные по размерам хвоинок использовали для определения их площади по формуле:

$$S = 5,14L \left( \frac{a + \frac{b}{2}}{2} \right),$$

где  $S$  – площадь хвоинки, мм<sup>2</sup>;  $L$  – длина хвоинки, мм;  $a$  – толщина хвоинки, мм;  $b$  – ширина хвоинки, мм.

Влажность хвои определяли по формуле:

$$H = \frac{a - b}{a} 100 \%,$$

где  $H$  – влажность хвои в % от ее веса в свежем состоянии;  $a$  – вес навески в свежем состоянии;  $b$  – вес навески в абсолютно сухом состоянии.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Длительность жизни хвои сильно варьирует и по типам леса, и внутри насаждения от дерева к дереву, и в кроне каждого дерева [9]. М. Е. Ткаченко [20] установил, что сосновая хвоя держится на дереве 3–4 года. По мнению Л. Ф. Правдина [18], это справедливо только для лесов европейской части нашей страны, потому как в лесах Сибири хвоя держится значительно дольше, до 5–7 и даже 9 лет.

В изучаемых культурах в среднем долговечность хвои составляет 5,3 года. Причем в верхней части кроны продолжительность жизни фотосинтетического аппарата равняется 4,8, в средней – 5,7, в нижней – 5,5 года (табл. 2). Н. А. Бабич, Д. Н. Клевцов, И. В. Евдокимов [2], исследуя продолжительность жизни хвои в 40-летних посевах сосны обыкновенной южной подзоны тайги,

отметили, что в лишайниковом типе леса она составляет 4,1, в сосняке брусничном – 3,6, в сосняке черничном – 3,9 года.

В общей массе у сосны преобладает хвоя первых четырех лет жизни, с пятого года начинается интенсивный опад хвои. Наши исследования показывают, что наибольшую массу имеет хвоя третьего года жизни. С возрастом масса хвои на дереве уменьшается. Хвоя первых четырех лет составляет 86,3–97,1 % от общей массы. По наблюдениям П. А. Феклистова и О. Н. Тюкавиной [25], в сосняках Архангельской области максимальное значение массы хвои приходится на 2-летнюю хвою. Исследования К. С. Бобковой, В. В. Тужилкиной, С. Н. Сенькиной и др. [6] показали, что продолжительность жизни хвои увеличивается по мере ухудшения лесорастительных условий в пределах растительной зоны. Так, масса хвои сосны пяти лет и старше в сосняке черничном составляет в среднем 18,9 %, в чернично-сфагновом – 22,1 %. По данным В. Д. Надуткина, А. Н. Модянова [13], в возрастном спектре хвои сосны в сосняке черничном северной подзоны тайги хвоя первых четырех лет составляет 82 %, хвоя 5–10-летнего возраста – 18 % от общего веса хвои. Н. А. Бабич, М. Д. Мерзленко, И. В. Евдокимов [4] установили, что хвоя первых четырех лет составляет более 90 % от общего веса хвои в кроне.

Ряд исследователей [6], [7], [8], [13], [15] отмечают, что основная масса и численность хвои находятся в средней части полога. В молодняках здесь сосредоточено 52 % всей массы хвои, в средневозрастных – 48 %, в спелых – 45 % [8]. Наши исследования показали, что в 36-летних культурах сосны в средней части полога располагается наибольшее количество хвоинок – 6169–7878 штук, хотя масса хвои составляет 28–38 % от всей массы хвои на дереве, а в верхней части полога сосредоточено 40–52 % от общей массы хвои, но насчитывается несколько меньшее число хвоинок – 6145–7210 штук.

Н. А. Бабич, М. Д. Мерзленко [3] отмечают, что в лучших лесорастительных условиях хвоя имеет на два года меньшую продолжительность жизни. В лучших условиях у растения больше строительного материала, чтобы формировать быстрее новую хвою, которая, конечно, работает более эффективно, чем старая.

Таблица 2

## Масса хвои разного возраста внутри крон сосен

Способ обработки почвы	Часть кроны	Масса хвои в возрасте, лет						Итого
		1	2	3	4	5	6	
Пласт	верхняя	$\frac{28,43^*}{22,5}$	$\frac{38,15}{30,3}$	$\frac{38,43}{30,5}$	$\frac{17,47}{13,9}$	$\frac{3,58}{2,8}$	$\frac{0,04}{0,03}$	$\frac{126,10}{100}$
	средняя	$\frac{14,45}{21,5}$	$\frac{14,04}{20,9}$	$\frac{18,03}{26,8}$	$\frac{11,55}{17,2}$	$\frac{7,79}{11,6}$	$\frac{1,43}{2,1}$	$\frac{67,29}{100}$
	нижняя	$\frac{9,40}{20,6}$	$\frac{10,89}{23,8}$	$\frac{12,54}{27,4}$	$\frac{8,56}{18,7}$	$\frac{3,55}{7,8}$	$\frac{0,76}{1,7}$	$\frac{45,69}{100}$
	в среднем	$\frac{17,43}{21,5}$	$\frac{21,03}{25,0}$	$\frac{23,00}{28,2}$	$\frac{12,53}{16,6}$	$\frac{4,98}{7,4}$	$\frac{0,74}{1,3}$	–
Фрезполоса	верхняя	$\frac{31,60}{29,7}$	$\frac{27,70}{26,0}$	$\frac{31,66}{29,8}$	$\frac{10,79}{10,1}$	$\frac{4,63}{4,4}$	–	$\frac{106,38}{100}$
	средняя	$\frac{24,43}{24,2}$	$\frac{22,99}{22,8}$	$\frac{30,04}{29,8}$	$\frac{17,00}{16,9}$	$\frac{6,07}{6,0}$	$\frac{0,27}{0,3}$	$\frac{100,80}{100}$
	нижняя	$\frac{10,38}{17,1}$	$\frac{12,74}{21,0}$	$\frac{18,65}{30,7}$	$\frac{11,08}{18,2}$	$\frac{2,55}{4,2}$	$\frac{5,40}{8,9}$	$\frac{60,80}{100}$
	в среднем	$\frac{22,13}{23,7}$	$\frac{21,15}{23,3}$	$\frac{26,78}{30,1}$	$\frac{12,96}{15,1}$	$\frac{4,42}{4,9}$	$\frac{2,83}{4,6}$	–

Примечание: \* – в числителе приведена масса хвои в граммах, в знаменателе – в процентах.

Изучая размеры ассимиляционного аппарата сосны, П. С. Кондратьев [10] заключил, что длина хвои постепенно уменьшается сверху вниз по кроне дерева с увеличением возраста мутовки, причем это положение действует у всех сосен, даже произрастающих в различных типах леса и в разных зонах. Это подтверждается и работами других авторов [2], [4], [13], [23]. Так, Н. А. Бабич, М. Д. Мерзленко, И. В. Евдокимов [4] определили, что наибольших размеров в длину в северной подзоне тайги достигает трехлетняя хвоя (в черничном типе 36,4 мм, в вересково-лишайниковом типе 30,3 мм). П. А. Феклистов с соавт. [24] установили, что ширина и толщина средней хвоинки сосны в разных типах леса более или менее постоянны. Исследователи отмечают, что длина хвои – признак более изменчивый. Наибольшей длины она достигает в более продуктивных типах леса.

Анализируя изменение морфологических показателей хвои сосны, Н. А. Бабич, Д. Н. Клевцов, И. В. Евдокимов [2] пришли к выводу, что уменьшение длины, ширины и толщины хвои происходит от верхней части кроны (66,8; 1,71; 0,78) к нижней (29,8; 1,02; 0,49), а также линейные размеры средней хвоинки зависят от лесорастительных условий. Эти данные согласуются как с нашими показателями (табл. 3), так и с исследованиями Н. И. Казиминова с соавт. [8]. Авторы отметили, что в сосняке черничном средней тайги Карелии длина хвои равна в среднем 42,4, ширина 1,47 и толщина 0,54 мм, тогда как в сосняке воронично-черничном – 34,4; 1,51 и 0,70 мм соответственно. Е. В. Прыгов, О. Н. Уродкова, П. А. Феклистов

[19] установили, что сосняки черничные в сравнении с другими типами сосняков пригородной зоны г. Архангельска имеют наиболее крупную хвою – 32,9 мм в длину. Согласно нашим данным, полученным в сосняке долгомошном, средняя длина хвоинки варьирует от 31,52 до 35,6 мм, ширина – от 0,96 до 1,08 мм, толщина – от 0,43 до 0,47 мм.

Морфометрические показатели ассимиляционного аппарата сосны в зависимости от способа обработки почвы приведены в табл. 4.

Общая масса хвои на средней ветви в зависимости от способа обработки почвы колеблется от 77,7 до 85,2 г. Е. В. Прыгов, О. Н. Уродкова, П. А. Феклистов [19] отмечают, что в Архангельской области этот показатель составляет в сосняке черничном 12 г, сосняке кустарничково-сфагновом – 40 г, сосняке чернично-сфагновом – 25 г.

По массе хвои на дереве можно отметить, что в культурах сосны, высаженных по пластам, этот показатель составляет 5,3 кг хвои, по фрезполосам – 6,2 кг. Данное различие обусловлено главным образом степенью развития их кроны в связи с разным положением деревьев в насаждении. Если на фрезполосах деревья являются господствующими и обладают весьма развитой кроной, то в относительно более лучших условиях, то есть сосен, высаженных по пластам, деревья занимают положение среднего дерева и имеют менее развитую крону. Масса хвои в абсолютно сухом состоянии примерно в 1,8 раза меньше, чем в свежем. Согласно анализу ряда образцов, сухое вещество составляет в среднем 60,4 % (56,8 % на пластах и 64,3 % на фрезполосах) от

Таблица 3

## Биометрические показатели хвои сосны

Способ обработки почвы	Часть кроны	Размеры хвои по годам, мм						в среднем
		1	2	3	4	5	6	
<b>ДЛИНА</b>								
Пласт	верхняя	31,44	32,24	37,04	38,44	35,39	35,40	34,99
	средняя	26,39	27,54	30,83	31,09	30,35	32,00	29,70
	нижняя	25,96	26,75	31,20	29,75	29,93	35,67	29,88
	в среднем	27,93	28,84	33,02	33,09	31,89	34,35	<b>31,52</b>
Фрезполоса	верхняя	39,24	33,65	38,49	42,06	56,65	–	35,02
	средняя	34,37	31,29	35,61	38,40	35,32	48,66	37,28
	нижняя	33,48	33,02	34,80	37,10	31,61	37,00	34,50
	в среднем	35,70	32,65	36,30	39,19	41,19	28,55	<b>35,60</b>
<b>ШИРИНА</b>								
Пласт	верхняя	1,02	1,09	1,10	1,25	1,35	1,20	1,17
	средняя	0,95	0,95	1,02	1,05	1,09	1,16	1,03
	нижняя	1,04	0,96	0,85	1,07	1,05	1,22	1,03
	в среднем	1,00	1,00	0,99	1,13	1,17	1,19	<b>1,08</b>
Фрезполоса	верхняя	1,12	1,13	1,10	1,14	1,40	–	0,98
	средняя	0,98	0,92	0,92	1,11	1,08	1,18	1,03
	нижняя	0,81	0,81	0,84	0,90	0,87	0,94	0,86
	в среднем	0,97	0,95	0,95	1,05	1,12	0,71	<b>0,96</b>
<b>ТОЛЩИНА</b>								
Пласт	верхняя	0,43	0,43	0,49	0,49	0,52	0,61	0,49
	средняя	0,42	0,46	0,38	0,49	0,53	0,43	0,45
	нижняя	0,42	0,38	0,40	0,46	0,56	0,56	0,46
	в среднем	0,42	0,42	0,42	0,48	0,54	0,53	<b>0,47</b>
Фрезполоса	верхняя	0,43	0,46	0,44	0,47	0,72	–	0,42
	средняя	0,41	0,44	0,41	0,49	0,50	0,57	0,47
	нижняя	0,42	0,38	0,31	0,46	0,38	0,42	0,40
	в среднем	0,42	0,43	0,39	0,47	0,54	0,33	<b>0,43</b>
<b>ПЛОЩАДЬ, мм<sup>2</sup></b>								
Пласт	верхняя	58,32	63,53	75,24	86,83	85,01	82,34	75,21
	средняя	46,41	49,92	55,66	61,78	63,59	64,94	57,05
	нижняя	48,74	45,90	50,00	58,33	62,77	81,18	57,82
	в среднем	51,16	53,12	60,30	68,98	70,46	76,15	<b>63,36</b>
Фрезполоса	верхняя	78,15	68,59	77,05	88,96	154,33	–	77,84
	средняя	61,19	55,35	60,95	78,93	72,22	111,44	73,35
	нижняя	53,05	50,37	52,33	63,64	50,71	64,66	55,79
	в среднем	64,13	58,10	63,44	77,18	92,42	58,70	<b>69,00</b>

веса в свежем состоянии. Эти показатели весьма близки к данным по Архангельской области [12], но несколько больше, чем для Карелии и Кольского полуострова [8], а также Западной Сибири и Якутии [17].

В культурах сосны, высаженных по пластам, влажность хвои наибольшая во всех частях кро-

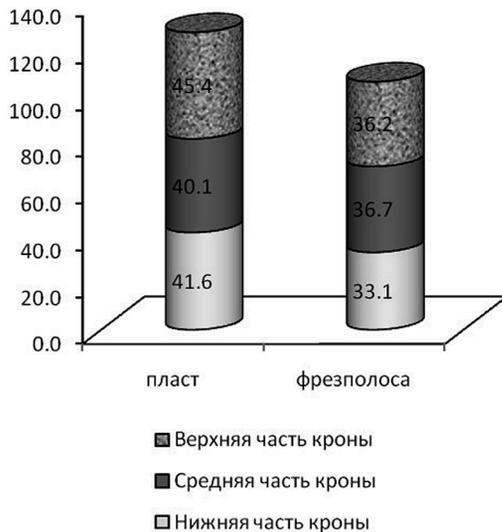
ны, что, несомненно, сказывается и в целом на продуктивности деревьев (рисунок).

Поверхность одного листа (хвои) в свежем состоянии равняется у сосны на пластах 0,65 см<sup>2</sup>, на фрезполосах – 0,68 см<sup>2</sup>. По данным К. С. Бобковой [5], в зеленомошном типе леса средней тайги – 0,97 см<sup>2</sup>.

Морфометрические показатели ассимиляционного аппарата сосны

Таблица 4

Способ обработки почвы	Количество хвоинок на ветке, шт.				Масса средней хвоинки, мг	Масса хвои на дереве, кг	Площадь хвои на ветви, см <sup>2</sup>	Площадь хвои на дереве, м <sup>2</sup>	Индекс листовой поверхности, га/га	Число живых ветвей, шт.
	часть кроны			в среднем						
	верхняя	средняя	нижняя							
Пласт	7210	6169	4019	5799	13,4	5,3	3641,5	24,4	5,39	70
Фрезполоса	6145	7878	5344	6456	13,2	6,2	4608,3	32,9	8,07	67



Влажность хвои в разных частях кроны

Каждый тип фитоценоза характеризуется определенным показателем листового индекса древесной растительности. Отмечается, что по мере продвижения на север, а также с ухудшением дренажа и увеличением избыточного увлажнения величина поверхности листьев снижается. Так, по данным В. Д. Надуткина, А. Н. Модянова

[13], в древостоях сосновых лесов зеленомошной группы типов северной подзоны тайги листовый индекс равен 6,3–6,4 га/га. К. С. Бобкова [5] указывает, что для сосняков средней тайги характерна величина листового индекса 6–8,1 га/га. Относительно большая величина листовой поверхности (10,02 га/га) характерна для сосново-елового древостоя. В исследованиях Y. Tadaki [28] приведены близкие данные по листовой поверхности сосновых лесов для сомкнутых суходольных сосняков (7–12 га/га).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В изучаемых нами искусственно созданных древостоях сосны индекс листовой поверхности составляет 5,39–8,07 га/га, что указывает на правильно подобранную технологию создания лесных культур в данных лесорастительных условиях. Для насаждений созданы благоприятные условия, в которых они развиваются, достигая показателей по производительности, близких к соснякам зеленомошной группы средней подзоны тайги. Это очень важно, поскольку хвоя как ассимиляционный орган, участвующий в фотосинтезе, влияет на образование надземной органической массы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н. А. О точности учета надземной фитомассы культур сосны // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1989. № 1. С. 112–115.
2. Бабич Н. А., Клевцов Д. Н., Евдокимов И. В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: Монография. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.
3. Бабич Н. А., Мерзленко М. Д. Биологическая продуктивность лесных культур. Архангельск: АГТУ, 1998. 89 с.
4. Бабич Н. А., Мерзленко М. Д., Евдокимов И. В. Фитомасса культур сосны и ели в Европейской части России. Архангельск, 2004. 112 с.
5. Бобкова К. С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
6. Бобкова К. С., Тужилкина В. В., Сенькина С. Н., Галенко Э. П., Загирова С. В. Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1993. 176 с.
7. Веретенников А. В. Метаболизм древесных растений в условиях корневой аноксии. Воронеж: ВГУ, 1985. 152 с.
8. Казимиров Н. И., Волков А. Д., Зябченко С. С., Иванчиков А. А., Морозова Р. М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
9. Каменецкая И. В. Изменение массы и морфологии хвои разных возрастов в кронах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по годам в разных типах леса // Продуктивность и структура растительности молодых сосняков. М., 1973. С. 63–68.
10. Кондратьев П. С. Закономерности формирования отдельных вегетативных органов дерева в разных типах леса и в разных зонах Европейской части СССР: Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. М.: МГУ, 1961. 22 с.
11. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. - И. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 425 с.
12. Молчанов А. А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 276 с.

13. Надуткин В. Д., Модянов А. Н. Надземная фитомасса древесных растений в сосняках зеленомошных // Вопросы экологии сосняков Севера: Тр. Коми фил. АН СССР. 1972. № 24. С. 70–80.
14. Ничипорович А. А. О путях повышения производительности фотосинтеза растений в посевах // Фотосинтез и вопросы повышения продуктивности растений. М.: Наука, 1963. С. 5–36.
15. Онучин А. А., Козлова Л. Н. Структурно-функциональные изменения хвои сосны под влиянием поллятантов в лесостепной зоне Средней Сибири // Лесоводство. 1993. № 2. С. 39–45.
16. Онучин А. А., Спицына Н. Т. Закономерности изменения массы хвои в хвойных древостоях // Лесоведение. 1995. № 5. С. 48–58.
17. Поздняков Л. К., Протопопов В. В., Горбатенко В. М. Биологическая продуктивность лесов Средней Сибири и Якутии. Красноярск, 1969. 156 с.
18. Правдин Л. Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 191 с.
19. Прыгов Е. В., Уродкова О. Н., Феклистов П. А. Параметры ассимиляционного аппарата в разных типах сосняков // Экологические проблемы Севера: Межвузовский сборник научных трудов. Архангельск, 2000. Вып. 3. С. 25–28.
20. Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. Изд. 2-е. М.; Л., 1955. 600 с.
21. Тужилкина В. В., Кузиев Е. А. Определение поверхности хвои сосны и ели в средней подзоне тайги // Биогеоэкологические исследования хвойных фитоценозов на Севере. Сыктывкар, 1983. С. 16–20.
22. Уткин Ф. И., Дылис И. В. Изучение вертикального распределения фитомассы в лесных фитоценозах // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 1996. Т. 72. № 6. С. 79–91.
23. Феклистов П. А. Развитие ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях г. Архангельска // Проблемы лесовыращивания на Европейском Севере: Сборник научных трудов. Архангельск АГТУ, 1999. С. 85–88.
24. Феклистов П. А., Евдокимов В. Н., Барзут В. М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги. Архангельск: ИПЦ АГТУ, 1997. 140 с.
25. Феклистов П. А., Тюкавина О. Н. Особенности ассимиляционного аппарата, водного режима и роста деревьев сосны в осушенных сосняках: Монография. Архангельск: ИД САФУ, 2014. 179 с.
26. Цельникер Ю. А. Радиационный режим под пологом леса. М.: Наука, 1969. 100 с.
27. Цельникер Ю. Л., Корзухин М. Д., Зейде Б. Б. Морфологические и физиологические исследования кроны деревьев. М.: Мир Урании, 2000. 96 с.
28. Tada K. Y. Biomass of forests, with special reference to the leaf biomass of forests in Japan // Journal of Japanese Forest Society. 1976. Vol. 58. № 11. P. 416–423.

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

### ASSIMILATORY APPARATUS OF PINE CULTURES

In forest ecosystems the fir needles of coniferous trees play an important functional role, which is determined by its activity in the processes of growth and development of coniferous plant communities, interaction with other components of ecosystems and habitat. The study of the assimilation apparatus in 36-year-old pine cultures located in the cutting areas was carried out in the north-taiga district of Arkhangelsk region. Biometric and morphometric characteristics of the pine photosynthetic apparatus were studied and analyzed. It was also revealed that these conditions were favorable for the growth and development of studied artificial plantations, for the achievement of productive performance similar to the one of the pine green moss group of the middle taiga.

Key words: forest cultures, pine assimilation apparatus, krone, needles

### REFERENCES

1. Babich N. A. On accurate accounting of the aboveground phytomass of pine plantation [O tochnosti ucheta nadzemnoy fitomassy kul'tur sosny]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions]. 1989. № 1. P. 112–115.
2. Babich N. A., Klevtsov D. N., Evdokimov I. V. *Zonal'nye zakonomernosti izmeneniya fitomassy kul'tur sosny: Monografiya* [Zonal patterns of change in biomass of crops pine]. Arkhangelsk, SAFU Publ., 2010. 140 p.
3. Babich N. A., Merzlenko M. D. *Biologicheskaya produktivnost' lesnykh kul'tur* [Biological productivity of forest plantations]. Arkhangelsk, AGTU Publ., 1998. 89 p.
4. Babich N. A., Merzlenko M. D., Evdokimov I. V. *Fitomassa kul'tur sosny i eli v Evropeyskoy chasti Rossii* [Phytomass of spruce and fir cultures in the European part of Russia]. Arkhangelsk, 2004. 112 p.
5. Bobkova K. S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological productivity of coniferous forests in the North-East of Europe]. Leningrad, Nauka Publ., 1987. 156 p.
6. Bobkova K. S., Tuzhilkina V. V., Sen'kina S. N., Galenko E. P., Zagirova S. V. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy produktivnosti sosnovykh lesov Evropeyskogo Severa-Vostoka* [Ecological-physiological basis of productivity of pine forests of the European North-East]. Syktyvkar, 1993. 176 p.
7. Veretennikov V. A. *Metabolizm drevesnykh rasteniy v usloviyakh kornevoy anoksii* [Metabolism of woody plants under conditions of root anoxia]. Voronezh, VGU Publ., 1985. 152 p.
8. Kazimirov N. I., Volkov A. D., Zyabchenko S. S., Ivanchikov A. A., Morozova R. M. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism and energy in pine forests of European North]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 304 p.

9. Kamenetskaya I. V. Changes in mass and morphology of needles of different ages in the crowns of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) by years in different forest types [Изменение массы и морфологии хвоя разных возрастов в кронах сосны обыкновенной по годам в разных типах леса]. *Продуктивность и структура растительности молодых сосняков*. Moscow, 1973. P. 63–68.
10. Kondrat'ev P. S. *Zakonomernosti formirovaniya otdel'nykh vegetativnykh organov dereva v raznykh tipakh lesa i v raznykh zonakh Evropeyskoy chasti SSSR: Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk* [Regularities of individual vegetative organs of tree in different forest types and in different zones of the European part of the USSR: author. Diss. ... candidate of agricultural sciences]. Moscow, MGU Publ., 1961. 22 p.
11. Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G. - I. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 425 p.
12. Molchanov A. A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [The Productivity of organic mass in the forests of the various zones]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 276 p.
13. Nadutkin V. D., Modyanov A. N. Above ground phytomass of woody plants deposits in dry pine forests [Наземная фитомасса древесных растений в сосняках зеленомошных]. *Voprosy ekologii sosnyakov Severa: Trudy Komi fil. AN SSSR*. 1972. № 24. P. 70–80.
14. Nichiporovich A. A. On ways to improve the performance of plant photosynthesis in crops [О путях повышения производительности фотосинтеза в посевах]. *Fotosintez i voprosy povysheniya produktivnosti rasteniy*. Moscow, Nauka Publ., 1963. P. 5–36.
15. Onuchin A. A., Kozlova L. N. Structural and functional changes of pine needles under the influence of platanov in the forest-steppe zone of Middle Siberia [Структурно-функциональные изменения хвои сосны под влиянием платанов в лесостепной зоне Средней Сибири]. *Lesovodstvo*. 1993. № 2. P. 39–45.
16. Onuchin A. A., Spitsyna N. T. Patterns of change in the mass of needles in coniferous forest stands [Zakonomernosti izmeneniya massy khvoi v khvoynykh drevostoyakh]. *Lesovedenie*. 1995. № 5. P. 48–58.
17. Pozdnyakov L. K., Protopopov V. V., Gorbatenko V. M. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Sredney Sibiri i Yakutii* [Biological productivity of forests in Middle Siberia and Yakutia]. Krasnoyarsk, 1969. 156 p.
18. Pravdin L. F. *Sosna obyknovennaya. Izmenchivost', vnutrividovaya sistematika i selektsiya* [Pine. Variability, intraspecific taxonomy and selection]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 191 p.
19. Prygov E. V., Urodkova O. N., Feklistov P. A. The parameters of assimilate apparatus in different types of pine forests [Параметры ассимиляционного аппарата в разных типах сосняков]. *Ecologicheskie problemy Severa*. Arkhangel'sk, 2000. Issue 3. P. 25–28.
20. Tkachenko M. E. *Obshchee lesovodstvo* [Total forestry]. Ed. 2. Moscow, Leningrad, 1955. 600 p.
21. Tuzhilkina V. V., Kuziv E. A. Defining the surface of the needles of pine and spruce in the middle taiga subzone [Определение поверхности хвои сосны и ели в средней подзоне тайги]. *Biogeotsenologicheskie issledovaniya khvoynykh fitotsenozov na Severe*. Syktyvkar, 1983. P. 16–20.
22. Utkin F. I., Dylis A. V. The study of the vertical distribution of biomass in the forest phytocenoses [Изучение вертикального строения биомассы в лесных фитосенозах]. *Bulleten' MOIP. Otd. Biol.* 1996. Vol. 72. № 6. P. 79–91.
23. Feklistov P. A. Development of the assimilation apparatus of pines obicno-tively in terms of Arkhangel'sk [Развитие ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в условиях г. Архангельска]. *Problemy lesovyrashchivaniya na Evropeyskom Severe*. Arkhangel'sk, AGTU Publ., 1999. P. 85–88.
24. Feklistov P. A., Evdokimov V. N., Barzut V. M. *Biologicheskie i ekologicheskie osobennosti rosta sosny v severnoy podzone Evropeyskoy taygi* [Biological and ecological peculiarities of growth of pine in Northern taiga subzone of the European]. Arkhangel'sk, IPTs AGTU Publ., 1997. 140 p.
25. Feklistov P. A., Tyukavina O. N. *Osobennosti assimilyatsionnogo apparata, vodnogo rezima i rosta derev'ev sosny v osushennykh sosnyakh: Monografiya* [Features of assimilation apparatus, water regime and growth of pine trees in drained pine forests: Monograph]. Arkhangel'sk, ID SAFU Publ., 2014. 179 p.
26. Zelniker Y. L. *Radiatsionnyy rezhim pod pologom lesa* [Radiation regime under forest canopy]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 100 p.
27. Tsel'niker Yu. L., Korzukhin M. D., Zeyde B. B. *Morfologicheskie i fiziologicheskie issledovaniya krony derev'ev* [Morphological and physiological studies of tree crowns]. Moscow, Mir Uranii Publ., 2000. 96 p.
28. Tadaki Y. Biomass of forests, with special reference to the leaf biomass of forests in Japan // *Journal of Japanese Forest Society*. 1976. Vol. 58. № 11. P. 416–423.

Поступила в редакцию 09.11.2015

**ИРИНА НИКОЛАЕВНА УРБАНАВИЧЕНЕ**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лишенологии и бриологии, Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

*urbanavichene@gmail.com*

**ГЕННАДИЙ ПРАНАСОВИЧ УРБАНАВИЧЮС**

кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории наземных экосистем, Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (Апатиты, Российская Федерация)

*g.urban@mail.ru*

## ДОПОЛНЕНИЯ К ЛИХЕНОФЛОРЕ МОРДОВСКОГО ЗАПОВЕДНИКА, РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ И СРЕДНЕЙ РОССИИ

Мордовский заповедник является одним из наиболее соэкологически значимых среди лесных заповедников Средней России. Изначальные сведения о лишайниках Мордовского заповедника относятся к 1937–1938 годам, но первая сводка была опубликована лишь в 1960 году. Второй список лишайников заповедника содержал 136 видов и был опубликован в 2004 году, но без целенаправленных лишенологических исследований изученность лишайников заповедника оставалась явно недостаточной. В связи с этим в 2013–2015 годах авторами проведена инвентаризация лишенофлоры ненарушенных лесов Мордовского заповедника. По итогам проведенной работы представлены новые флористические находки. Впервые для территории заповедника приведено 43 таксона, из них 39 видов являются новыми для Республики Мордовия. Шесть видов: *Briancoppinsia cytospora* (Vouaux) Diederich, Ertz, Lawrey et van den Boom, *Bryobilimbia sanguineoatra* (Wulfen) Fryday, Printzen et S. Ekman, *Epicladonia sandstedei* (Zopf) D. Hawksw., *Lecania croatica* (Zahlbr.) Kotlov, *Lichenodiplis lichenicola* Dyko et D. Hawksw. и *Pyrenochaeta xanthoriae* Diederich – новые для Средней России. В настоящее время лишенофлора Мордовского заповедника насчитывает 340 видов лишайников и систематически близких нелихенизированных лишенофильных и сапротрофных грибов, что является наивысшим показателем разнообразия лишенофлоры среди всех особо охраняемых природных территорий Средней России и подтверждает его значение в качестве ключевой территории для расселения редких видов лишайников в сопредельные регионы.

Ключевые слова: лишайники, лишенофильные грибы, новые находки, Мордовский заповедник, Средняя Россия

### ВВЕДЕНИЕ

Мордовский государственный природный заповедник расположен в северо-западной части Республики Мордовия на территории Темниковского района. Его площадь составляет 32 тыс. га. В зональном отношении Мордовский заповедник находится в восточноевропейском секторе подзоны широколиственных лесов. Основными типами растительности являются леса, незначительную площадь занимают луга и болота. Часть поймы в пределах заповедника покрыта дубравами, притеррасные участки избыточно увлажнены и заняты черноольшаниками. Сосновые леса занимают господствующее положение и варьируют от сухих лишайниковых боров и редиин (почти открытых площадей на борových песках) до сырых сосняков на торфах. Не меньшее разнообразие представляют липняки, ельники и смешанные леса [2].

Несмотря на длительную историю охранного режима территории заповедника, его леса не-

однократно подвергались пожарам, последний из которых, наиболее масштабный, в 2010 году уничтожил или в значительной степени повредил почти половину лесной площади заповедника. Тем не менее на ненарушенной территории заповедника сохраняется богатая и разнообразная флора, в которой отмечены крайне редкие, неизвестные в остальной Средней России виды лишайников и лишенофильных грибов.

Начало изучению лишенофлоры заповедника было положено еще в первые годы после его образования в конце 30-х годов прошлого века [1]. В конце 1990-х годов работы по изучению лишайников заповедника продолжены Л. В. Терешкиной, в итоге, к началу 2000-х годов число известных видов достигло 136 [3]. Наша публикация продолжает ряд сообщений о лишайниках Мордовского заповедника, инвентаризация лишенофлоры которого начата авторами в 2013 году [4], [5], [7], [8], [9], [13]. Последние исследования лишенофлоры Мордовского заповедника позволи-

ли выявить много новых, ранее неизвестных для его территории видов, также новых для Республики Мордовия и Средней России.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проведены авторами в 2013–2015 годах преимущественно маршрутным методом. Образцы собраны со всех доступных субстратов, включая антропогенные (в том числе старые железобетонные блоки и столбы). Особое внимание уделено выделам наиболее старовозрастных древостоев темнохвойно-широколиственных и широколиственных лесов. Координаты фиксировались при помощи навигатора GARMIN GPSmap 62s в системе WGS84. Определение образцов проведено стандартными методами в Лаборатории лишенологии и бриологии Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург).

Образцы перечисленных ниже видов хранятся в гербарии Мордовского заповедника и личной коллекции авторов, часть образцов передана на хранение в LE. Номенклатура таксонов приведена в основном по «Списку лишенофлоры России» [6] с некоторыми современными изменениями [10], [11], [12].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки коллекции выявлено 43 вида, ранее неизвестных на территории Мордовского заповедника. 39 видов впервые обнаружены в Республике Мордовия, из них шесть видов – новые для Средней России.

В аннотированном списке для каждого вида приведены координаты (в основном), место сбора, субстрат, дата сбора. Коллекторы для всех видов И. Н. Урбанавичене, Г. П. Урбанавичюс, кроме отдельно оговоренных сборов сотрудника Ботанического института им. В. Л. Комарова И. В. Чернядьевой. Приняты следующие сокращения и условные обозначения: кв. – квартал, \* – лишенофильный гриб, + – нелихенизированные грибы, # – новый вид для Республики Мордовия, ## – новый вид для Средней России.

#*Anisomeridium polypori* (M. B. Ellis et Everh.) M. E. Barr – 54°53'48,7" с. ш., 43°35'51,7" в. д., 86 кв., ельник с осинкой, на осине, 28.IV.2014.

#*Arthonia patellulata* Nyl. – 54°54'13,0" с. ш., 43°14'02,4" в. д., 19 кв., кордон Средняя мельница, окрестности старого карьера, смешанный лес, на осине, 4.V.2014.

#*Athallia cerinelloides* (Erichsen) Arup, Frödén et Søchting – 54°54'13,0" с. ш., 43°14'02,4" в. д., 19 кв., кордон Средняя мельница, смешанный лес около старого карьера, на осине, 4.V.2014;

54°43'53,9" с. ш., 43°07'03,5" в. д., 421 кв., широколиственный лес, на дубе, 12.IX.2013; 54°43'26,9" с. ш., 43°11'55,8" в. д., 445 кв., смешанный лес, на осине, 2.V.2015.

*Biatora helvola* Körb. ex Hellb. – 54°54'00,7" с. ш., 43°35'05,1" в. д., 59 кв., смешанный лес, на клене, 28.IV.2014.

#*Biatora ocelliformis* (Nyl.) Arnold – 54°54'00,7" с. ш., 43°35'05,1" в. д., 59 кв., смешанный лес, на клене, рябине, 28.IV.2014; 54°53'40,4" с. ш., 43°35'09,9" в. д., 85 кв., ельник, на дубе, 28.IV.2014.

#\**Biatoropsis usnearum* Räsänen – 54°54'59,2" с. ш., 43°27'48,0" в. д., 33 кв., темнохвойно-широколиственный лес, на таллеме *Usnea glabrescens* (Nyl. ex Vain.) Vain. (на липе), 29.IV.2014.

###*Briancoppinsia cytospora* (Vouaux) Diederich, Ertz, Lawrey et van den Boom – 54°54'47,4" с. ш., 43°14'27,4" в. д., 9 кв., темнохвойно-широколиственный, на таллеме *Parmelia sulcata* Taylor (на ели), 6.V.2014; 54°54'09,4" с. ш., 43°13'53,5" в. д., 19 кв., кордон Средняя мельница, широколиственный лес, на таллеме *Parmelia sulcata* Taylor (на вязе), 5.V.2014.

###*Bryobilimbia sanguineoatra* (Wulfen) Fryday, Printzen et S. Ekman – 54°54'12,0" с. ш., 43°34'12,6" в. д., 58 кв., темнохвойно-широколиственный лес у поймы р. Арга, на липе, 30.IV.2014.

#*Calicium glaucellum* Ach. – 54°53'53,1" с. ш., 43°35'52,2" в. д., 86 кв., смешанный лес, на древесине, 28.IV.2014; 54°44'52,7" с. ш., 43°12'03,0" в. д., 408 кв., кордон Долгий мост, на древесине сосны, 3.V.2015.

#*Calicium pinastri* Tibell – 54°44'52,7" с. ш., 43°12'03,0" в. д., 408 кв., кордон Долгий мост, на древесине сосны, 3.V.2015.

#*Calicium viride* Pers. – 54°53'35,9" с. ш., 43°34'14,1" в. д., 84 кв., темнохвойно-широколиственный лес, на дубе, 30.IV.2014.

#*Calogaya decipiens* (Arnold) Arup, Frödén et Søchting – 54°43'12,2" с. ш., 43°14'02,1" в. д., 447 кв., кордон Вяльзенский, на старом железобетонном столбе, 9.V.2015.

#*Chaenotheca chlorella* (Ach.) Müll. Arg. – 54°44'43,8" с. ш., 43°05'01,2" в. д., 401 кв., широколиственный лес, на дубе, 10.IX.2013.

#+*Chaenothecopsis pusiola* (Ach.) Vain. – 54°53'43,5" с. ш., 43°35'51,1" в. д., 86 кв., ельник, на дубе, 28.IV.2014; 54°52'50,4" с. ш., 43°36'06,2" в. д., 114 кв., сосняк заболоченный, на древесине сосны, 1.V.2014.

#*Cladonia merochlorophaea* Asahina – 440 кв., смешанный лес севернее дер. Пушта, на почве на обочине дороги, 3.V.2015.

###*Epicladonia sandstedei* (Zopf) D. Hawksw. – 54°45'00,7" с. ш., 43°16'40,0" в. д., 413 кв., сосно-

во-березовый лес, на талломе *Cladonia coniocraea* (Flörke) Spreng. (на разрушенном пне), 6.V.2015.

#*Gyalecta truncigena* (Ach.) Nepp – 54°43'55,7" с. ш., 43°07'08,7" в. д., 421 кв., широколиственный лес, на вязе, 12.IX.2013.

##*Lecania croatica* (Zahlbr.) Kotlov – 54°54'31,8" с. ш., 43°13'43,2" в. д., 9 кв., пойменный широколиственный лес, на черемухе, 7.V.2015; 19 кв., кордон Средняя мельница, широколиственный лес, на вязе, 2.VII.2015, И. В. Чернядьева.

#*Lecania prasinoides* Elenkin – 54°43'53,9" с. ш., 43°07'03,5" в. д., 421 кв., широколиственный лес, на ольхе, 12.IX.2013.

#\**Lichenodiplis lecanorae* (Vouaux) Dyko et D. Hawksw. – 54°54'51,8" с. ш., 43°15'01,4" в. д., 10 кв., пойменный широколиственный лес, на апотециях *Athallia pyracea* (Ach.) Arup, Frödén et Søchting (на осине), 7.V.2014; 54°44'52,7" с. ш., 43°12'03,0" в. д., 408 кв., кордон Долгий мост, на апотециях *Lecanora saligna* (Schrad.) Zahlbr. (на древесине сосны), 3.V.2015.

##\**Lichenodiplis lichenicola* Dyko et D. Hawksw. – 54°46'37,4" с. ш., 43°28'51,9" в. д., 400 кв., широколиственный лес, на апотециях *Rinodina septentrionalis* Malme (на дубе), 7.V.2013.

#*Melanohalea septentrionalis* (Lynge) O. Blanco et al. – 54°44'43,8" с. ш., 43°05'01,2" в. д., 401 кв., широколиственный лес, на дубе, 10.IX.2013; 54°43'26,9" с. ш., 43°11'55,8" в. д., 445 кв., смешанный лес, на березе, 2.V.2015.

#*Micarea bauschiana* (Körb.) V. Wirth et Vězda – 54°44'52,7" с. ш., 43°12'03,0" в. д., 408 кв., кордон Долгий мост, на древесине сосны, 3.V.2015.

#*Micarea elachista* (Körb.) Coppins et R. Sant. – 54°54'42,0" с. ш., 43°14'40,1" в. д., 10 кв., хвойно-широколиственный лес, на древесине валежа, 7.V.2014; 54°52'50,4" с. ш., 43°36'06,2" в. д., 114 кв., сосняк заболоченный, на древесине сосны, 1.V.2014; 54°45'07,7" с. ш., 43°19'58,1" в. д., 407 кв., хвойный лес, на древесине валежа, 3.V.2015.

#*Mycobilimbia carnealbida* (Müll. Arg.) S. Ekman et Printzen – 54°53'48,7" с. ш., 43°35'51,7" в. д., 86 кв., старый ельник с осинкой, на осине, 28.IV.2014.

#*Ochrolechia androgyna* (Hoffm.) Arnold – 54°47'11,9" с. ш., 43°21'27,1" в. д., 340 кв., смешанный лес, на березе, 6.V.2013.

#*Peltigera degenii* Gyeln. – 54°54'13,0" с. ш., 43°14'02,4" в. д., 19 кв., кордон Средняя мельница, смешанный лес около старого карьера, на почве, 4.V.2014.

#*Pertusaria constricta* Erichsen – 54°43'14,9" с. ш., 43°09'32,1" в. д., 443 кв., широколиственный лес, на дубе, 15.IX.2013.

#*Pertusaria flavida* (DC.) J. R. Laundon – 54°54'05,3" с. ш., 43°54'22,0" в. д., 58 кв., широколиственный лес, на липе, 1.V.2014.

#*Physcia alnophila* (Vain.) Loht., Moberg, Myllys et Tehler – 440 кв., смешанный лес севернее дер. Пушта, на осине, 4.V.2015.

#*Porina aenea* (Wallr.) Zahlbr. – 54°54'59,2" с. ш., 43°27'48,0" в. д., 33 кв., темнохвойно-широколиственный лес, на клене, 29.IV.2014.

##\**Pyrenochaeta xanthoriae* Diederich – 54°54'13,0" с. ш., 43°14'02,4" в. д., 19 кв., кордон Средняя мельница, смешанный лес около старого карьера, на талломе *Physconia distorta* (With.) J. R. Laundon, *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. (на вязе), 4.V.2014.

#*Rinodina colobina* (Ach.) Th. Fr. – 54°43'54,3" с. ш., 43°09'24,5" в. д., 436 кв., темнохвойно-широколиственный лес, на осине, 11.IX.2013.

##+*Sarea resiniae* (Fr.) Kuntze – 54°46'00,6" с. ш., 43°18'09,4" в. д., 389 кв., хвойный лес, на смоле на стволе сосны, 7.V.2015.

#*Sclerophora coniophaea* (Norman) Mattsson et Middelb. – 54°53'35,9" с. ш., 43°34'14,1" в. д., 84 кв., темнохвойно-широколиственный лес, на дубе, 30.IV.2014.

#*Scoliciosporum sarothamni* (Vain.) Vězda – 54°54'09,4" с. ш., 43°13'53,5" в. д., 19 кв., кордон Средняя мельница, широколиственный лес, на вязе, черемухе, 5.V.2014.

#*Strangospora moriformis* (Ach.) Stein – 420 кв., смешанный лес в окрестностях Павловского кордона, на сосне, 28.IV.2013, 5.V.2013.

#*Strigula stigmatella* (Ach.) R. C. Harris – 54°47'32,9" с. ш., 43°23'36,6" в. д., 342 кв., смешанный лес на левом берегу р. Вязь-Пушта, на клене, 30.IV.2013.

#*Thelenella pertusariella* (Nyl.) Vain. – 19 кв., кордон Средняя мельница, широколиственный лес, на вязе, 2.VII.2015, И. В. Чернядьева.

#*Thelocarpon epibolum* Nyl. – 54°45'12,4" с. ш., 43°24'05,7" в. д., 420 кв., смешанный лес, на древесине валежа сосны, 28.IV.2013.

#*Verrucaria murina* Leight. – 54°54'13,0" с. ш., 43°14'02,4" в. д., 19 кв., кордон Средняя мельница, смешанный лес в старом карьере, на известняке, 4.V.2014.

#*Xanthomendoza ulophyllodes* (Räsänen) Søchting, Kärnefelt et S. Y. Kondr. – 54°44'43,8" с. ш., 43°05'01,2" в. д., 401 кв., широколиственный лес, на вязе, 10.IX.2013; 54°44'24,1" с. ш., 43°18'59,0" в. д., 434 кв., старый осинник, на осине, 7.V.2014.

#*Xylopsora friesii* (Ach.) Bendiksby et Timdal – 54°54'42,0" с. ш., 43°14'40,1" в. д., 10 кв., смешанный лес, на древесине сосны, 7.V.2014; 54°52'50,4"

с. ш., 43°36'06,2" в. д., 114 кв., сосняк заболоченный, на древесине сосны, 1.V.2014.

Всего за текущий период инвентаризации лишенофлоры заповедника (2013–2015 годы) нами было выявлено более 180 видов, ранее неизвестных в Республике Мордовия. Из них 46 видов являются новыми для Средней России (что составляет более 13 % выявленного состава лишенофлоры), 8 видов впервые найдены в России. Но проводить какой-либо итоговый анализ лишенофлоры Мордовского заповедника пока преждевременно. В целом изученный состав лишенофлоры (340 видов) говорит о ней как о наиболее богатой и разнообразной среди всех заповедников равнинной части Европейской России. По

показателям разнообразия лишенофлоры среди 103 заповедников России Мордовский заповедник входит в число первых 15 и сопоставим со многими ООПТ горных регионов, обладающих гораздо большей площадью.

Авторы признательны администрации и сотрудникам Мордовского заповедника за содействие в исследовании лишенофлоры; Z. Palice за помощь в определении *Lecania croatica* и *Thelenella pertusariella*, И. В. Чернядьевой за предоставление сборов ряда эпифитных видов лишайников. Работа первого автора частично поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа: современное состояние и проблемы развития».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Н. И. Флора грибов, лишайников, мхов и сосудистых растений Мордовского заповедника // Труды Мордовского государственного заповедника. Вып. 1. Саранск, 1960. С. 71–128.
2. Кузнецов Н. И. Растительность Мордовского государственного заповедника // Труды Мордовского государственного заповедника. Вып. 1. Саранск, 1960. С. 129–220.
3. Терешкина Л. В. Лишайники Мордовского государственного природного заповедника // Урбанавичюс Г. П., Урбанавичене И. Н. Лишайники / Современное состояние биологического разнообразия на заповедных территориях России. Вып. 3. Лишайники и мохообразные. М., 2004. С. 5–235.
4. Урбанавичене И. Н., Урбанавичюс Г. П. Дополнение к лишенофлоре Мордовского заповедника. I // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2013. Вып. 31. № 23. С. 156–162.
5. Урбанавичене И. Н., Урбанавичюс Г. П. Дополнение к лишенофлоре Мордовского заповедника. II // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2015. № 2. С. 127–132.
6. Урбанавичюс Г. П. Список лишенофлоры России. СПб.: Наука, 2010. 194 с.
7. Урбанавичене И. Н., Урбанавичюс Г. П. Первое дополнение к лишенофлоре Республики Мордовия и Средней России // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 2014. Т. 119. Вып. 3. С. 78–81.
8. Урбанавичюс Г. П., Урбанавичене И. Н. Фитогеографические наблюдения за *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. в Мордовском заповеднике // Труды Мордовского государственного заповедника. Вып. 13. Саранск, 2014. С. 372–382.
9. Урбанавичюс Г. П., Урбанавичене И. Н. Второе дополнение к лишенофлоре Республики Мордовия и Средней России // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 2015. Т. 120. Вып. 3. С. 75–77.
10. Arup U., Söchting U., Frödén P. A new taxonomy of the family *Teloschistaceae* // Nordic Journal of Botany. 2013. Vol. 31. P. 16–83.
11. Bendiksby M., Timdal E. Molecular phylogenetics and taxonomy of *Hypocenomyce* sensu lato (Ascomycota: Lecanoromycetes): Extreme polyphyly and morphological/ecological convergence // Taxon. 2013. Vol. 62. P. 940–956.
12. Fryday A. M., Printzen C., Ekman S. *Bryobilimbia*, a new generic name for *Lecidea hypnorum* and closely related species // Lichenologist. 2014. Vol. 46. P. 25–37.
13. Urbanavichene I., Urbanavichus G. *Bacidia pycnidata* discovered in European Russia // Folia Cryptogamica Estonica. 2014. Vol. 51. P. 109–111.

Urbanavichene I. N., Komarov Botanical Institute RAS (St. Petersburg, Russian Federation)  
Urbanavichus G. P., Institute of the North Industrial Ecology Problems KSC RAS (Apatity, Russian Federation)

#### ADDITIONS TO LICHEN FLORA OF MORDOVSKII RESERVE, REPUBLIC OF MORDOVIA, AND MIDDLE RUSSIA

Mordovskii Reserve is one of the most valuable woodland localities in the Middle Russia. Although the first lichen records on Mordovskii Reserve date back to the 1937–1938, the first list was published only in 1960, and the study of the Reserve's lichen flora was rather poor. The second list of 2004 contains only 136 taxa, therefore, in 2013–2015 the authors explored virgin forests of Mordovskii Reserve. Results of the conducted lichen study are presented in the article. As a result of the research, 43 taxa were recorded in the Reserve for the first time. 39 species are new to the Republic of Moravia. Six species: *Briancoppinsia cytopora* (Vouaux) Diederich, Ertz, Lawrey et van den Boom, *Bryobilimbia sanguinea* (Wulfen) Fryday, Printzen et S. Ekman, *Epilcladonia sandstedei* (Zopf) D. Hawksw., *Lecania croatica* (Zahlbr.) Kotlov, *Lichenodiplis lichenicola* Dyko et D. Hawksw. and *Pyrenochaeta xanthoriae* Diederich are new to the Middle Russia. Therefore, Mordovskii Nature Reserve accounts for 340 species of lichens and lichenicolous fungi and is currently characterized by the highest diversity of flora when compared to other protected areas of the Middle Russia. Thus, this Reserve can play an important role as a key territory for further dissemination of rare lichen species onto the territories of cross-border regions.

Key words: lichens, lichenicolous fungi, Mordovskii Reserve, Middle Russia, new records

## REFERENCES

1. Kuznetsov N. I. Flora of fungi, lichens, mosses and vascular plants of Mordovskii Reserve [Flora gribov, lishaynikov, mkhov i sosudistykh rasteniy Mordovskogo zapovednika]. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo zapovednika*. Issue 1. Saransk, 1960. P. 71–128.
2. Kuznetsov N. I. Vegetation of Mordovskii State Reserve [Rastitel'nost' Mordovskogo gosudarstvennogo zapovednika]. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo zapovednika*. Issue 1. Saransk, 1960. P. 129–220.
3. Tereshkina L. V. Lichens of Mordovskii State Nature Reserve [Lishayniki Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika]. *Urbanavichus G. P., Urbanavichene I. N. Lishayniki / Sovremennoe sostoyanie biologicheskogo raznoobraziya na zapovednykh territoriyakh Rossii*. Issue 3. Moscow, 2004. P. 5–235.
4. Urbanavichene I. N., Urbanavichus G. P. Additions to the lichen flora of Mordovskii Reserve. I [Dopolnenie k likhenoflore Mordovskogo zapovednika. I]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologiya i ekologiya*. 2013. Issue 31. № 23. P. 156–162.
5. Urbanavichene I. N., Urbanavichus G. P. Additions to the lichen flora of Mordovskii Reserve. II [Dopolnenie k likhenoflore Mordovskogo zapovednika. II]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologiya i ekologiya*. 2015. № 2. P. 127–132.
6. Urbanavichus G. P. *Spisok likhenoflory Rossii* [A checklist of the lichen flora of Russia]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2010. 194 p.
7. Urbanavichus G. P., Urbanavichene I. N. The first addition to the lichen flora of the Republic of Mordovia and Middle Russia [Pervoe dopolnenie k likhenoflore Respubliki Mordoviya i Sredney Rossii]. *Byulleten' MOIP. Otd. biol.* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series]. 2014. Vol. 119. Issue 3. P. 78–81.
8. Urbanavichus G. P., Urbanavichene I. N. Phytogeographical notes on *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. in Mordovskii Reserve [Fitogeograficheskie nablyudeniya za *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. v Mordovskom zapovednike]. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo zapovednika*. Issue 13. Saransk, 2014. P. 372–382.
9. Urbanavichus G. P., Urbanavichene I. N. The second addition to the lichen flora of the Republic of Mordovia and Middle Russia [Vtoroe dopolnenie k likhenoflore Respubliki Mordoviya i Sredney Rossii]. *Byulleten' MOIP. Otd. biol.* [Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series]. 2015. Vol. 120. Issue 3. P. 75–77.
10. Arup U., Søchting U., Frödén P. A new taxonomy of the family *Teloschistaceae* // *Nordic Journal of Botany*. 2013. Vol. 31. P. 16–83.
11. Bendiksby M., Timdal E. Molecular phylogenetics and taxonomy of *Hypocenomyce* sensu lato (Ascomycota: Lecanoromycetes): Extreme polyphyly and morphological/ecological convergence // *Taxon*. 2013. Vol. 62. P. 940–956.
12. Fryday A. M., Printzen C., Ekman S. *Bryobilimbia*, a new generic name for *Lecidea hypnorum* and closely related species // *Lichenologist*. 2014. Vol. 46. P. 25–37.
13. Urbanavichene I., Urbanavichus G.. *Bacidia pycnidata* discovered in European Russia // *Folia Cryptogamica Estonica*. 2014. Vol. 51. P. 109–111.

Поступила в редакцию 16.11.2015

**НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА ЧУКИНА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и биохимии растений Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)

*nady\_dicusar@mail.ru*

**НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА КУТЛУНИНА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)

*natakutlunina@mail.ru*

**ДАРЬЯ РАМИЛЬЕВНА ШАЙХОВА**

студент 4-го курса департамента «Биологический факультет» Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)

*darya.booo@mail.ru*

**ТАТЬЯНА ФЕДОРОВНА ШАРНИНА**

студент 4-го курса департамента «Биологический факультет» Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)

*zapesh\_vlad@mail.ru*

**ИВАН АНДРЕЕВИЧ СИТНИКОВ**

студент 4-го курса департамента «Биологический факультет» Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)

*ivan11011994@mail.ru*

**ИРИНА СЕРГЕЕВНА КИСЕЛЕВА**

кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и биохимии растений Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)

*irina.kiseleva@urfu.ru*

### **ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА\***

Исследованы параметры фотосинтетического аппарата листа, фертильность пыльцевых зерен и эффективность опыления 5 видов травянистых растений (*Scorzonera glabra*, *Sanguisorba officinalis*, *Silene athenica*, *Seseli libanotis*, *Artemisia latifolia*) в условиях аэротехногенного воздействия выбросов Карабашского медеплавильного комбината. Обнаружены значимые различия толщины листа, толщины мезофилла и количества фотосинтетических пигментов у растений из импактного и фонового участков. Установлено, что в условиях загрязнения при сохранении высокого уровня фертильности пыльцы у исследуемых видов наблюдались нарушения в строении пыльцевых зерен (изменение числа апертур в оболочке пыльцевых зерен, слипание и др.).

Ключевые слова: экспресс-оценка, аэротехногенное загрязнение, толщина листа, толщина мезофилла, фотосинтетические пигменты, фертильность пыльцевых зерен, число апертур

В настоящее время площади техногенно нарушенных территорий неуклонно увеличиваются. На Урале наблюдается высокая концентрация промышленных предприятий, что со временем приводит к острым экологическим проблемам в регионе. Так, например, территория, прилегающая к Карабашскому медеплавильному ком-

бинату (КМК), объявлена зоной экологического бедствия. Многолетняя деятельность комбината привела к значительной деградации почвенного покрова и превратила земли в непригодные для хозяйственного использования. Фиторекультивация или фиторемедиация данных территорий могла бы вернуть их в разряд хозяйственно ис-

пользуемых, например для выпаса скота, размещения пасек, создания рекреационных зон. Для этого необходимо восстановить растительность на этих территориях, в связи с чем важным и актуальным является поиск растений, пригодных для выращивания на нарушенных землях, а также изучение механизмов их устойчивости к факторам загрязнения, включая репродуктивные, для создания устойчивых фитоценозов на восстанавливаемых землях.

Имеющиеся в литературе данные описывают видовой состав флоры окрестностей КМК [6]; дыхательную активность лесной подстилки [14]; степень деградации природных ландшафтов территории комбината [8]. Сведений о механизмах выживания растений в условиях техногенного загрязнения выбросами КМК нет.

Установлено, что фотосинтетический аппарат растений чувствителен к неблагоприятным воздействиям. Изменение его параметров рассматривается как существенное проявление регуляции фотосинтеза на морфогенетическом уровне, что обеспечивает оптимизацию процессов роста и развития, а также адаптацию растений в различных экологических условиях [10].

Восстановление и поддержание численности растений в восстанавливаемых ценозах определяется не только устойчивостью особей, но и их способностью к репродукции. Успешность семенного размножения зависит от протекания опыления и оплодотворения. Пыльцевые зерна образуются из микроспор, формирование которых сопровождается мейозом и является чрезвычайно чувствительным к условиям среды. На процессы микроспорогенеза влияют погодные условия и химическое загрязнение, которое может приводить к полной или частичной стерильности пыльцы, изменению структуры, размеров, формы и морфологической разнокачественности пыльцевых зерен, а также влиять на рост пыльцевых трубок [2], [5], [18], [20].

Используемые в работе методы позволяют провести экспресс-оценку состояния вегетативных (анатомия листа, пигментный состав) и генеративных (фертильность пыльцевых зерен) органов растений в камеральных условиях, не требуют длительной пробоподготовки и относительно недороги. Эти методы могут быть использованы для ежегодного мониторинга состояния растений в окрестностях КМК, подбора видов растений и выработки стратегии восстановления нарушенных местообитаний.

Целью данной работы являлась оценка состояния фотосинтетического аппарата и мужской генеративной сферы растений, выживающих в

условиях аэротехногенного загрязнения в окрестностях КМК, для отбора видов, перспективных для фиторекультивации и фиторемедиации этих территорий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район исследования включал импактную зону – склоны горы Золотой в окрестностях КМК. Более чем столетняя работа комбината привела к серьезной деградации растительного и почвенного покрова. На склонах горы сформировалась техногенная пустошь: верхние слои почв замещены техногенными образованиями из эрозионных наносов. Основные компоненты загрязнений, связанные с медеплавильным производством: SO<sub>2</sub>-фактор кислотного загрязнения, пылевые выбросы, содержащие большое количество тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Fe, и др.), металлургические шлаки и отвалы вскрышных пород [1]. В соответствии с розой ветров район исследования наиболее подвержен атмосферному воздействию. Содержание водорастворимых форм Zn, Cu, Pb, Cd в почвах лесных участков превышает фоновые уровни в 11–38 раз [7]. В качестве относительного контроля (фоновая зона) рассматривали территорию Ильменского заповедника, расположенную в 50 км от КМК.

Были изучены следующие виды растений, доминирующие в фитоценозах горы Золотой: *Scorzonera glabra* Rupr., *Sanguisorba officinalis* L., *Silene amoena* L., *Seseli libanotis* (L.) Koch., *Artemisia latifolia* Ledeb. Материал был собран летом 2015 года в импактном и фоновом местообитаниях. Для исследования отбирали 5–10 листьев среднего яруса с 5–10 генеративных особей каждого вида. Толщину листа, мезофилла и эпидермиса определяли на поперечных срезах листьев с использованием объект- и окуляр-микрометров под световым микроскопом Meiji MT 4300L.

Содержание фотосинтетических пигментов определяли в 80 % растворе ацетона спектрофотометрически в 3 биологических повторностях. Расчет содержания хлорофиллов проводили по формуле Vernon, содержание каротиноидов – по Wettstein [3]. Цветки или соцветия фиксировали в ацетоалкоголе (1 часть ледяной уксусной кислоты и 3 части 96 % этилового спирта). Затем материал промывали и хранили в 70 % этаноле.

Фертильность пыльцевых зерен определяли ацетокарминовым методом [11]. В каждом местообитании исследовано по 5 цветков с 10 растений. В каждом цветке просмотрено 200 пыльцевых зерен. У фертильных пыльцевых зерен зернистая цитоплазма и насыщенный карминово-красный цвет. Стерильные пыльцевые зерна почти не окрашиваются кармином или окраши-

ваются неравномерно. Их содержимое часто отходит от оболочки и находится на разных этапах гибели.

В таблицах и на рисунках указаны средние значения и ошибки среднего. Достоверность различий между выборками по количеству пигментов оценивали по критерию Манна – Уитни при уровне значимости  $p < 0,05$  с использованием программы Statistica 6.0. Достоверность различий по фертильности пыльцы определяли с помощью критерия Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определены следующие параметры мезоструктуры фотосинтетического аппарата: толщина листа, толщина мезофилла и эпидермиса, содержание фотосинтетических пигментов. Показаны отличия в структурно-функциональных характеристиках фотосинтетического аппарата изученных видов растений в условиях высокоантропогенного воздействия в сравнении с фоновой зоной. Толщина листовой пластинки и толщина мезофилла у исследованных растений с импактного участка были достоверно выше в среднем на 50 % (рис. 1). Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о подобных же изменениях в структуре фотосинтетического аппарата растений при антропогенных воздействиях [15], [16], [17]. Достоверных изменений в толщине эпидермиса листа обнаружено не было.

Известно, что состояние пигментного аппарата растений может служить индикатором техногенного загрязнения среды. Результаты наших исследований также показали, что пигментный аппарат некоторых видов растений оказался чувствительным к аэротехногенному загрязнению. Так, например, *Seseli libanotis* и *Artemisia latifolia* на территории, прилегающей к КМК, характеризовались значительно более низким содержанием фотосинтетических пигментов в листьях по сравнению с растениями из контрольного местообитания. Наибольшее снижение этого параметра отмечено для *Seseli libanotis*: содержание хлорофилла *a* – в 2,3 раза, хлорофилла *b* – в 4,3 раза, каротиноидов – в 1,8 раза. Уменьшение содержания хлорофилла *b* в листьях этих двух видов было выражено сильнее, чем степень деградации хлорофилла *a* и каротиноидов (табл. 1).

Пигментный аппарат листьев растений *Sanguisorba officinalis*, *Scorzonera glabra* и *Silene repens* оказался устойчивым к условиям аэротехногенного загрязнения: для данных видов не выявлено статистически значимых изменений в содержании пигментов. Имеющиеся в литературе данные подтверждают полученные нами результаты: в условиях техногенного воздействия фотосинтетические пигменты подвергаются деградации либо их синтез нарушается. При этом отмечается, что в условиях умеренного хими-

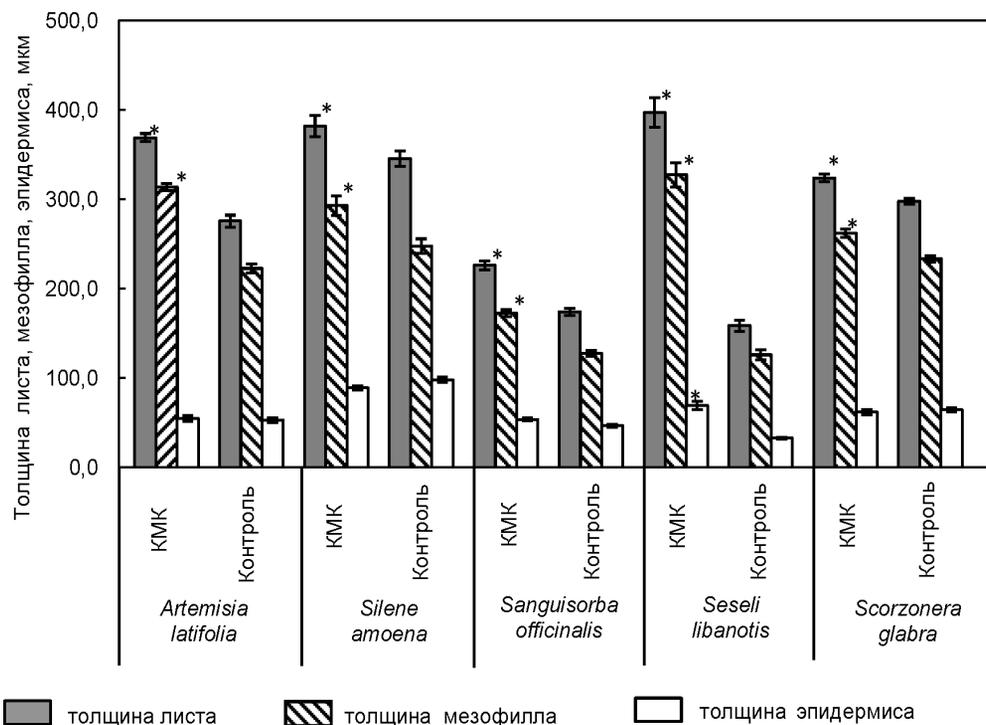


Рис. 1. Параметры листовой пластинки.  
\* – различия с контролем достоверны при уровне значимости  $p < 0,05$

Таблица 1

## Содержание фотосинтетических пигментов в листьях

Вид	Местообитание	Концентрация пигментов, мг/г сух. в.			
		Хл <i>a</i>	Хл <i>b</i>	Хл <i>ab</i>	Кар
<i>Sanquisorba officinalis</i>	КМК	1,50 ± 0,14	0,70 ± 0,10	2,21 ± 0,24	0,56 ± 0,06
	Контроль	1,37 ± 0,13	0,73 ± 0,03	2,10 ± 0,16	0,46 ± 0,05
<i>Artemisia latifolia</i>	КМК	1,61* ± 0,08	0,86 ± 0,04	2,48* ± 0,11	0,58 ± 0,03
	Контроль	2,69 ± 0,42	1,26 ± 0,23	3,95 ± 0,64	0,68 ± 0,09
<i>Scorsonera glabra</i>	КМК	1,27 ± 0,14	0,60 ± 0,08	1,87 ± 0,22	0,39 ± 0,03
	Контроль	1,40 ± 0,07	0,65 ± 0,02	2,06 ± 0,08	0,42 ± 0,05
<i>Seseli libanotis</i>	КМК	1,29 ± 0,07	0,51* ± 0,01	1,80* ± 0,07	0,35* ± 0,02
	Контроль	2,94* ± 0,33	2,18 ± 0,29	5,12 ± 0,53	0,60 ± 0,09
<i>Silene amoena</i>	КМК	1,96 ± 0,21	1,25 ± 0,12	3,21 ± 0,31	0,80 ± 0,09
	Контроль	1,50 ± 0,17	1,02 ± 0,15	2,52 ± 0,32	0,74 ± 0,09

Примечание. \* – различия с контролем достоверны при уровне значимости  $p < 0,05$ .

ческого загрязнения пигментный аппарат видов *Plantago major*, *Populus balsamifera* оказался устойчивым [9], [19]. Этими авторами было показано усиление синтеза антенных пигментов листа в условиях повышения антропогенной нагрузки. Известно, что добавочные пигменты светособирающих комплексов включают хлорофилл *b* и каротиноиды, которые обладают дополнитель-

но антиоксидантными функциями. Нами установлено, что у растений из окрестностей КМК (рис. 2) соотношение хл *a*/хл *b* практически не отличается от значений для растений из фоновой зоны, за исключением *Seseli libanotis*. Отношение хл *b* + каротиноиды/хл *a*, характеризующее долю антенных форм пигментов, также мало изменялось. Это свидетельствует о том, что раз-

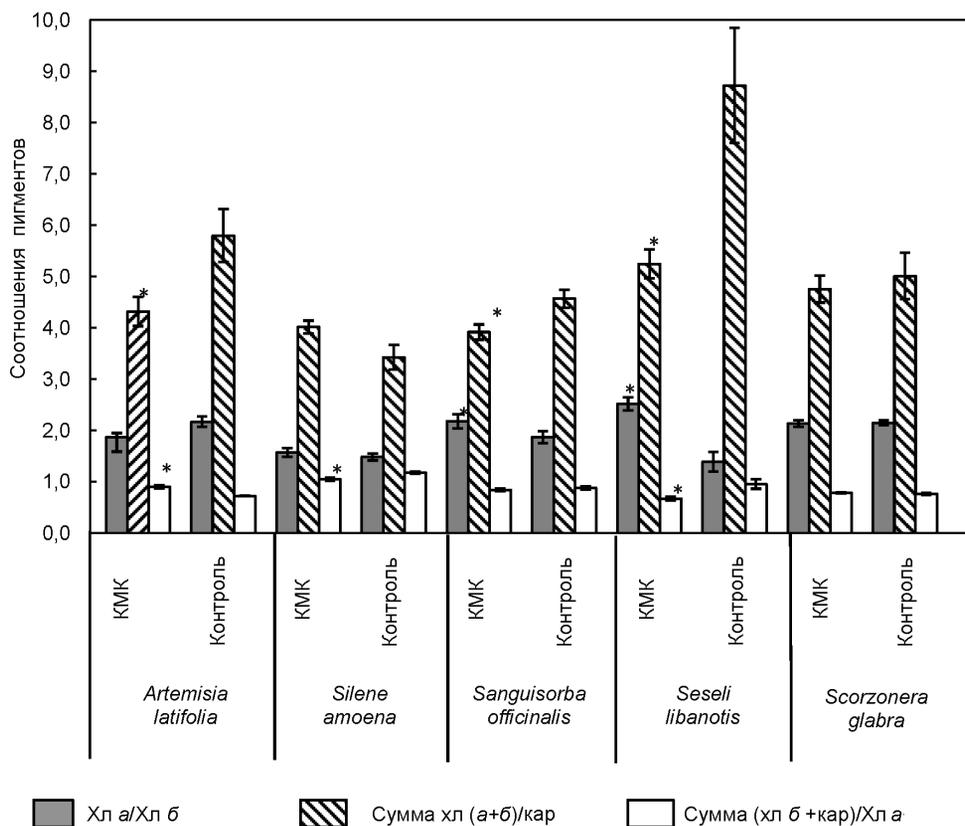


Рис. 2. Соотношение фотосинтетических пигментов в листьях.  
\* – различия с контролем достоверны при уровне значимости  $p < 0,05$

мер фотосинтетической антенны в листьях растений в условиях КМК сохраняется на уровне фонового варианта и, вероятно, зависит в большей степени от условий освещения, а не степени загрязнения.

Поллютанты способны оказывать воздействие как на вегетативные, так и генеративные органы растений. Гипотеза, которую мы сформулировали в начале исследования, заключалась в том, что в окрестностях КМК растения имеют больше нарушений в генеративной сфере. Однако показатели фертильности пыльцы у растений, произрастающих в Карабаше и на фоновом участке, достоверно не отличаются (табл. 2).

Таблица 2  
Фертильность пыльцевых зерен

Вид	Фертильность, %	
	КМК	Контроль
<i>Silene amoena</i>	93,0 ± 1,4	95,5 ± 1,7
<i>Sanguisorba officinalis</i>	94,5 ± 1,5	97,0 ± 0,8
<i>Artemisia latifolia</i>	97,5 ± 1,2	98,0 ± 1,0
<i>Seseli libanotis</i>	95,5 ± 1,7	97,5 ± 1,2
<i>Scorzonera glabra</i>	99,5 ± 0,4	98,6 ± 0,8

Вместе с тем в строении пыльцевых зерен модельных растений в окрестностях Карабаша зарегистрированы различные нарушения. У *Artemisia latifolia* наблюдается уменьшение числа апертур с трех в норме до двух и одной. Помимо этого, оболочка пыльцевых зерен значительно толще, чем у контрольных растений. У *Sanguisorba officinalis* встречаются не только трехпоровые пыльцевые зерна (норма), но и 4, 5, 6 и даже 8-поровые.

Формирование экзины, интины и детерминация апертур – сложный, не до конца изученный процесс [12], происходящий с участием различных клеточных органоидов, а изменение числа апертур свидетельствует о нарушениях этого процесса.

Изменение числа апертур нередко происходит у анеуплоидов, полиплоидов и гибридов [4]. В то же время есть данные об изменении числа апертур у диплоидов, произрастающих в условиях промышленного загрязнения [5], [13], но

в этих работах, в отличие от нашей, показано и значительное снижение фертильности пыльцы. В нашем исследовании изменение числа апертур происходило у фертильной пыльцы. Для детального понимания механизмов, приводящих к таким нарушениям, необходимы исследования на разных стадиях развития пыльцевых зерен с изучением их ультраструктуры под электронным микроскопом.

Кроме описанных нарушений, показано слипание пыльцевых зерен и наличие единичных пыльцевых зерен неправильной формы. Необходимо отметить, что и в контроле зафиксированы отдельные нарушения в строении пыльцевых зерен, но они встречаются единично.

## ВЫВОДЫ

1. В условиях аэротехногенного загрязнения у большинства изученных видов обнаружено утолщение листовой пластинки, обусловленное увеличением толщины мезофилла листа. Толщина эпидермиса листа при этом не изменялась.

2. Показано, что растения из импактной и фоновой зон достоверно различались по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях, однако характер этих различий был видоспецифичен. *Seseli libanotis* и *Artemisia latifolia* чувствительны к аэротехногенному загрязнению, при этом фотосинтетический аппарат *Sanguisorba officinalis*, *Scorzonera glabra* и *Silene repens* был устойчив к выбросам кислых газов и тяжелым металлам.

3. Уровень фертильности пыльцы изученных видов в окрестностях КМК был достаточно высоким и не отличался от контроля, тогда как в строении пыльцевых зерен выявлены нарушения, наиболее частым из которых было изменение числа апертур в оболочке пыльцы.

4. Анализ состояния вегетативных органов (лист) и мужской генеративной сферы позволил определить *Seseli libanotis* и *Artemisia latifolia* как виды-индикаторы техногенного загрязнения. *Sanguisorba officinalis*, *Scorzonera glabra* и *Silene repens*, обладая большей устойчивостью, могут быть рекомендованы к использованию в технологиях восстановления нарушенных земель.

\* Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-04-08320 А и программы 211 Правительства Российской Федерации, соглашение № 02.А03.21.0006.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белогуб Е. В., Удачин В. Н., Кораблев Г. К. Карабашский рудный район (Южный Урал): Материалы к путеводителю геолого-экологической экскурсии. Миасс, 2003. 40 с.
2. Бессонова В. Н. Состояние среды как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами // Экология. 1993. № 3. С. 45–50.
3. Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: Академия, 2003. 256 с.

4. Гаврилова О. А., Тихонова О. А. Разнообразие форм пыльцевых зерен и их распределение у некоторых видов и гибридов крыжовниковых // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. № 3. С. 82–92.
5. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: Недра, 2006. 198 с.
6. Коротеева Е. В., Вейсберг Е. И., Куянцева Н. Б. Оценка состояния лесной ценофлоры в зоне воздействия Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 1 (4). С. 1005–1011.
7. Коротеева Е. В., Веселкин Д. В., Куянцева Н. Б., Мумбер А. Г., Чашина О. Е. Накопление тяжелых металлов в разных органах березы повислой возле Карабашского медеплавильного комбината // Агрохимия. 2015. № 3. С. 94–102.
8. Линник В. Г., Хорошавин В. Ю., Пологрудова О. А. Деграция природных ландшафтов и химическое загрязнение в ближней зоне влияния Карабашского медеплавильного комбината // Вестник ТюмГУ. 2013. № 4. С. 105–114.
9. Максимова Е. В., Косицына А. А., Макурина О. Н. Влияние антропогенных факторов химической природы на некоторые эколого-биохимические характеристики растений // Вестник СамГУ. Естественнонаучная серия. 2007. № 8 (58). С. 146–152.
10. Мокроносов А. Т., Шамова Т. В. Сравнительный анализ мезоструктуры фотосинтетического аппарата у мезофитных и ксерофитных растений // Мезоструктура и функциональная активность фотосинтетического аппарата. Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1978. С. 103–107.
11. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.
12. Пожидаев А. Е. Структура многообразия морфологического признака на примере расположения апертур пыльцы цветковых и естественная упорядоченность биологического многообразия, или – что такое многообразие (способы описания и интерпретации) // Труды Зоологического института РАН. Приложение № 1. 2009. С. 150–182.
13. Сероглазова Н. Г., Бакташева Н. М. Индикация чистоты окружающей среды по состоянию пыльцы растений, произрастающих в дельте р. Волги // Вестник МГОУ. Сер. «Естественные науки». Раздел I. Биология. 2012. № 1. С. 65–68.
14. Сморгалов И. А., Воробейчик Е. И. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов // Экология. 2011. № 6. С. 429–435.
15. Улицкая Ю. Ю. Влияние интегрального технохимического загрязнения на анатомическое строение мезофилла листьев *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. // Экология промышленного региона и экологическое образование: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Н. Тагил, 2004. С. 54.
16. Хан Л. В., Астафурова Т. П. Морфолого-функциональные адаптации хвойных деревьев к условиям городской среды // Материалы международной конференции «Актуальные вопросы экологической физиологии растений в XXI веке». Сыктывкар, 2001. С. 245.
17. Fazlieva E. R., Kiseleva I. S., Zhukova T. V. Antioxidant Activity in the Leaves of *Melilotus albus* and *Trifolium medium* from Man-Made Disturbed Habitats in the Middle Urals under the Influence of Copper // Russian Journal of Plant Physiology. 2012. Vol. 59. № 3. P. 333–338.
18. Kalbade D. M., Dhadse S. N., Chaudhari P. R., Wate S. R. Biomonitoring of heavy metals by pollen in urban environment // Environ Monit Assess. 2008. Vol. 138. № 1. P. 233–238.
19. Kulagin A. A., Bakiev I. F. Balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) under technogenic conditions in Republic of Bashkortostan (Russia) // Materials of V International Young Scientists Conference “Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution”. Odessa, ONU Publ., 2011. P. 162.
20. Majd A., Sharife M. R., Zare H. The effect of air pollutant of Arak aluminum factory on growth and development of certain species of Leguminosae // J. Sci. Univ. Teacher Educ. 1996. Vol. 7. P. 27–31.

---

**Chukina N. V.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Kutlunina N. A.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Shaikhova D. R.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Sharnina T. F.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Sitnikov I. A.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)  
**Kiseleva I. S.**, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

#### EXPRESS ESTIMATION OF VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE ORGANS IN HERBACEOUS PLANTS FROM ENVIRONS OF KARABASH COPPER SMELTER

The article presents the results of photosynthetic parameters, pollen fertility and pollination efficiency in 5 plant species (*Scorzonera glabra*, *Sanguisorba officinalis*, *Silene amoena*, *Seseli libanotis*, *Artemisia latifolia*) under industrial emissions' impact of Karabash copper smelter. Significant differences in the leaf structure (leaf thickness, mesophyll thickness) and in the photosynthetic pigments' content of the plants inhabiting the background and impact zones of the territory were shown. A high level of pollen fertility in studied species both in control and impact sites was shown. Nevertheless, the lack of pollen in the stigma and various irregularities in the structure of pollen grains (change in the number of apertures) were revealed on disturbed territories. At the same time, the high efficiency of pollination contributes to the seeds' fertilization and their further development.

Key words: express-estimation, environmental contamination, leaf thickness, mesophyll thickness, photosynthetic pigments, fertility of pollen grains, number of apertures, shortage of pollen

## REFERENCES

1. Belogub E. V., Udachin V. N., Korablev G. K. *Karabashskiy rudnyy rayon (Yuzhnyy Ural): Materialy k putevoditel'nyu geologo-ekologicheskoy ekskursii* [Karabash ore district (South Urals). Materials to guide geological and ecological excursion]. Miass, 2003. 40 p.
2. Bessonova V. N. The state of pollen as an indicator of the environmental pollution with heavy metals. *Russian Journal of Ecology*. 1992. Vol. 22 (4). P. 45–50.
3. Gavrilenko V. F., Zhigalova T. V. *Bol'shoy praktikum po fotosintezu* [Large workshop on photosynthesis]. Moscow, Academy Publ., 2003. 256 p.
4. Gavrilova O. A., Tikhonova O. A. Diversity of pollen grain shapes, and their distribution across some grossulariaceae species and hybrids [Raznoobrazie form pyl'tsevykh zeren i ikh raspredelenie u nekotorykh vidov i gibridov kryzhovnikovykh]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Transactions of Karelian Research Centre of Russian Academy of Science]. 2013. № 3. P. 82–92.
5. Dzyuba O. F. *Palinoindikatsiya kachestva okruzhayushchey sredy* [Palynoidication of environmental quality]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2006. 198 p.
6. Koroteeva E. V., Veysberg E. I., Kuyantseva N. B. Estimation of forest cenoflora state in zone of Karabash copper smelt industrial complex impact (South Urals) [Otsenka sostoyaniya lesnoy tsenoflory v zone vozdeystviya Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata (Yuzhnyy Ural)]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011. Vol. 13. № 1 (4). P. 1005–1011.
7. Koroteeva E. V., Veselkin D. V., Kuyantseva N. B., Mumber A. G., Chashchina O. E. Accumulation of Heavy Metals in the Different *Betula pendula* Roth Organs near Karabash Copper Smelter [Nakoplenie tyazhelykh metallov v raznykh organakh berezy povisloy vozle Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata]. *Agrokhimiya* [Agrochemistry]. 2015. № 3. P. 94–104.
8. Linnik V. G., Khoroshavin V. Yu., Pologrudova O. A. Degradation of natural landscapes and chemical pollution under the influence of Karabash copper smelting [Degradatsiya prirodnykh landshaftov i khimicheskoe zagryaznenie v blizhney zone vliyaniya Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata]. *Vestnik TyumGU* [Vestnik of Tumen State University]. 2013. № 4. P. 105–114.
9. Maksimova E. V., Kositsyna A. A., Makurina O. N. Influence of anthropogenic factors on the some ecological and biochemical characteristics of plants [Vliyanie antropogennykh faktorov khimicheskoy prirody na nekotorye ekologo-biokhimicheskie kharakteristiki rasteniy]. *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya* [Vestnik of SSU. Natural science series]. 2007. № 8 (58). P. 146–152.
10. Mokronosov A. T., Shmakova T. N. Comparative analysis of the mesostructure of the photosynthetic apparatus of mesophyte and xerophyte plants [Sravnitel'nyy analiz mezostrukturny fotosinteticheskogo apparata u mezofitnykh i kserofitnykh rasteniy]. *Mezostruktura i funktsional'naya aktivnost' fotosinteticheskogo apparata* [Mesostructure and functional activity of the photosynthetic apparatus]. Sverdlovsk, Ural University Publ., 1978. P. 103–107.
11. Pausheva Z. P. *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Workshop on cytology of plants]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988. 271 p.
12. Pozhidaev A. E. Patterns of morphological variety of Angiospermous pollen aperture distribution and natural ordering of biological variety, or – what is a variety (problems of description and interpretation) [Struktura mnogoobraziya morfologicheskogo priznaka na primere raspolozheniya apertur pyl'tsy tsvetkovykh i estestvennaya uporyadochennost' biologicheskogo mnogoobraziya, ili – chto takoe mnogoobrazie (sposoby opisaniya i interpretatsii)]. *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. Prilozhenie № 1* [Proceedings ZIN. Supplement № 1]. 2009. P. 150–182.
13. Seroglazova N. G., Baktasheva N. M. Indication of environmental purity by the pollen of plants growing in the Volga delta [Indikatsiya chistoty okruzhayushchey sredy po sostoyaniyu pyl'tsy rasteniy, proizrastayushchikh v del'te r. Volgi]. *Vestnik MGOU. Seriya "Estestvennye nauki"* [Bulletin MSRU. Natulal Sciences]. 2012. № 1. P. 65–68.
14. Smorkalov I. A., Vorobeychik E. L. Soil respiration of forest ecosystems in gradients of environmental pollution by emissions from copper smelters. *Russian Journal of Ecology*. 2011. Vol. 42. № 6. P. 464–470.
15. Ulitskaya Yu. Yu. Influence of integral techno chemical pollution on the anatomical structure of the mesophyll leaves *Betula pendula* Roth, and *Tilia cordata* Mill. [Vliyanie integral'nogo tekhnokhimicheskogo zagryazneniya na anatomicheskoe stroenie mezofilla list'ev *Betula pendula* Roth, i *Tilia cordata* Mill.]. *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Ekologiya promyshlennogo regiona i ekologicheskoe obrazovanie"* [Proc. All-Russian scientific-practical Conf. "Ecology of the industrial region and environmental education"]. N. Tagil, 2004. P. 54.
16. Khan L. V., Astafurova T. P. Morphological and functional adaptation of conifers to the conditions of the urban environment [Morfologo-funktsional'nye adaptatsii khvoynykh derev'ev k usloviyam gorodskoy sredy]. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Aktual'nye voprosy ekologicheskoy fiziologii rasteniy v XXI veke"* [Proc. Int. Conf. "Actual problems of ecological physiology of plants in the XXI century"]. Syktyvkar, 2001. P. 245.
17. Fazlieva E. R., Kiseleva I. S., Zhukova T. V. Antioxidant Activity in the Leaves of *Melilotus albus* and *Trifolium medium* from Man-Made Disturbed Habitats in the Middle Urals under the Influence of Copper // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2012. Vol. 59. № 3. P. 333–338.
18. Kalbade D. M., Dhadse S. N., Chaudhari P. R., Wate S. R. Biomonitoring of heavy metals by pollen in urban environment // *Environ Monit Assess*. 2008. Vol. 138. № 1. P. 233–238.
19. Kulagin A. A., Bakiev I. F. Balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) under technogenic conditions in Republic of Bashkortostan (Russia) // *Materials of V International Young Scientists Conference "Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution"*. Odessa, ONU Publ., 2011. P. 162.
20. Majd A., Sharife M. R., Zare H. The effect of air pollutant of Arak aluminum factory on growth and development of certain species of Leguminosae // *J. Sci. Univ. Teacher Educ*. 1996. Vol. 7. P. 27–31.

**ЛЮБОВЬ ЕВГЕНЬЕВНА БЛАЖЕВИЧ**

старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и здоровьесберегающих технологий Института физической культуры, спорта и туризма, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*lyu15041988@yandex.ru*

**ВАЛЕНТИНА МИХАЙЛОВНА КИРИЛИНА**

кандидат биологических наук, доцент, директор Института физической культуры, спорта и туризма, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*kirilina@petsu.ru*

**ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА КИВЕР**

преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности и здоровьесберегающих технологий Института физической культуры, спорта и туризма, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*hoiya@yandex.ru*

**АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ КРИВЧЕНКО**

доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией сравнительной физиологии дыхания, Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

*office@iephb.ru*

**РОЛЬ ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ ПРОСТАГЛАНДИНОВ В СОКРАЩЕНИИ  
ГЛАДКОЙ МУСКУЛАТУРЫ ТРАХЕИ И БРОНХОВ КРЫСЫ\***

Рассмотрена роль простагландинов эпителия нижних дыхательных путей крысы в сократительной активности гладкой мускулатуры трахеи и бронхов. Исследования проводились на изолированных препаратах с применением электрической стимуляции постганглионарных нервов (частота – 30 стим./с, длительность – 0,5 мсек, амплитуда – 20 В, продолжительность стимуляции – 10 с). В результате исследования выяснено, что простагландины респираторного эпителия способствуют увеличению сократительной активности гладкой мышцы, что связано с преобладанием простагландинов констрикторного действия – PGF<sub>2α</sub> и других. В исследовании применялись аденозин и капсаицин как экспериментальные аналоги внешних факторов среды. При ингибировании синтеза эпителиальных простагландинов бронхоконстрикторный эффект аденозина сохраняется, констрикторное же действие капсаицина сохраняется только в препаратах с ганглиями; в препаратах трахеи и бронхов без ганглиев присутствует дилатационный эффект, это указывает на то, что в действии капсаицина эпителиальные простагландины понижают активность тахикининов С-волокон, ответственных за бронхоконстрикцию. В то же время снижение сокращения гладкой мышцы в препаратах без ганглиев может свидетельствовать о роли интрамуральных нервных структур в констрикторном эффекте, опосредованном активацией С-волокон.

Ключевые слова: интрамуральный ганглий, тучные клетки, ПГЕ<sub>2</sub>, индометацин

**ВВЕДЕНИЕ**

Эпителиальный слой клеток, выстилающий внутреннюю поверхность респираторного тракта, прямо подвержен воздействию соединений атмосферного воздуха, способных sensibilizировать организм, в результате чего происходит развитие аллергической реакции. Эпителий способен оказывать влияние на сократительную активность прилегающего к нему гладкомышечного слоя за счет выделения простагландинов – ПГЕ<sub>2</sub>, ПГФ<sub>2α</sub> и других, оказывающих дилата-

ционный или констрикторный эффект. В данной статье мы рассмотрим влияние ингибирования синтеза простагландинов при различных видах воздействия на гладкие мышцы трахеи и бронхов: стимуляции электрическим полем постганглионарных нервов, аппликации аденозина и аппликации капсаицина. Роль нейронов интрамуральных ганглиев в этом процессе мы будем оценивать сравнением эффекта ингибирования синтеза простагландинов на препаратах трахеи и бронхов, содержащих ганглии и без них.

Бронхиальный эпителий выделяет провоспалительные цитокины, простагландины, бронхоконстриктор эндотелин и бронходилатирующий оксид азота, а также другие биологически активные факторы. Однако полная роль эпителия в механизмах гиперреактивности и бронхоконстрикции у различных видов животных и человека остается невыясненной. Практически нет исследований, раскрывающих роль эпителия при блокаде синтеза простагландинов индометацином на фоне воздействия капсаицином или аденозином в сократительных ответах гладкой мускулатуры крысы [1]. В то время как эти соединения выступают в качестве экспериментальных моделей внешних факторов, возбуждающих С-волокна неадренэргической нехолинэргической системы (капсаицин) и активирующих иммунокомпетентные тучные клетки с последующей их дегрануляцией и выбросом гистамина (аденозин) [8]. В литературе имеются сведения о том, что аденозин активирует тучные клетки, С-волокна, аденозиновые рецепторы гладкой мышцы и эпителия, а также стреч-рецепторы, вызывая при этом увеличение сокращения гладкой мускулатуры, сменяющееся его понижением [7]. Капсаицин активирует преимущественно С-волокна, вызывая аналогичную мышечную реакцию. Ингибирование эпителиальных простагландинов индометацином позволит установить их роль в сокращении гладкой мышцы трахеи и бронхов крысы как на фоне физиологического раствора, так и на фоне моделирования внешнего воздействия (аппликации аденозина и капсаицина) [2].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись 20 крыс линии Вистар обоего пола с массой тела 180–250 г. Подготовленные препараты трахеи и бронхов помещались в камеры с физиологическим раствором Кребса – Хензелейта, где поддерживался необходимый уровень кислорода и температурный режим. Исследовали изменение ответов гладкой мышцы трахеи и бронхов, вызванное электрической стимуляцией постганглионарных нервов на фармакологические препараты. Анализировали максимальную и минимальную величину сокращения. Минимальная величина сокращения может рассматриваться как дилатационный эффект, а максимальная – как констрикторный (учитывается в % от фонового уровня активности, принимаемого за 100 %). Регистрация сократительной активности проводилась в изометрическом режиме с помощью электромеханического датчика. Сокращение (напряжение) гладкой мышцы преобразовывалось в электрический сигнал,

который поступал на ЭВМ для регистрации и дальнейшей обработки.

Раздражение препарата электрическим полем осуществляли с помощью стимулятора ЭСЛ-2. Серебряные электроды располагались по обе стороны препарата. При стимуляции постганглионарных нервов частота равнялась 30 стим./с, длительность 0,5 мсек, амплитуда 20 В, продолжительность стимуляции 10 с [3].

В ходе экспериментов экзогенно вводились следующие вещества: индометацин (10 мкг/мл) для блокады синтеза эпителиальных простагландинов, аденозин (10 мкг/мл) для активации тучных клеток, капсаицин (1 мкг/мл, аппликация ( $V = 0,2$  мл)) с целью активации С-волокон.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

##### Активность гладкой мышцы трахеи и бронхов при ингибировании синтеза простагландинов индометацином

На фоне физиологического раствора неспецифический ингибитор синтеза простагландинов индометацин вызывал снижение сократительных ответов гладкой мышцы трахеи с ганглиями, вызванных стимуляцией постганглионарных нервов до  $78,7 \pm 2,6$  % на  $7,0 \pm 0,1$  минуте (рис. 1).

На трахее без ганглиев снижение ответов достигало практически той же величины –  $75,8 \pm 3,6$  %, однако оно происходило на  $5,71 \pm 0,82$  минуте ( $P < 0,05$ ), то есть значительно раньше. На препаратах бронхов с ганглиями и без ганглиев снижение величины сокращения, вызываемое обработкой препаратов индометацином, достоверно не различалось ( $75,7 \pm 2,4$  % и  $85,1 \pm 2,8$  % на бронхах с ганглиями и без ганглиев соответственно), однако в первом случае уменьшение амплитуды сокращения наступало на  $6,4 \pm 0,49$  минуте, а во втором – на  $5,0 \pm 0,84$  минуте ( $P < 0,05$ ).

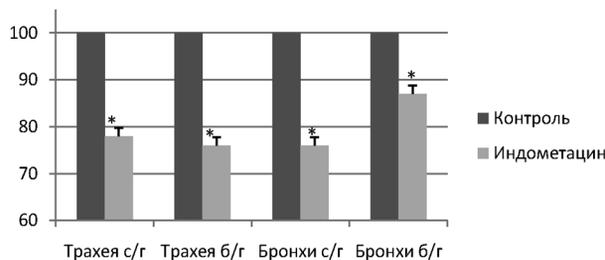


Рис. 1. Сокращения гладкой мышцы трахеи и бронхов при постганглионарной стимуляции и при блокаде эпителия индометацином. По оси абсцисс обозначены используемые препараты. По оси ординат – изменения ответов гладкой мышцы в %. За 100 % приняты ответы гладкой мышцы, вызванные стимуляцией постганглионарных нервов, на фоне физиологического раствора. «Трахея с/г» – трахея с ганглиями. «Трахея б/г» – трахея без ганглиев. «Бронхи с/г» – бронхи с ганглиями. «Бронхи б/г» – бронхи без ганглиев. \* – достоверное ( $P < 0,05$ ) отличие от контроля

### Активность гладкой мышцы трахеи и бронхов при действии аденозина и ингибировании синтеза простагландинов

На фоне ингибирования синтеза простагландинов аденозин оказывал двухфазный эффект при сокращении гладкой мышцы, вызванный стимуляцией постганглионарных нервов (рис. 2). Первая фаза у всех препаратов характеризовалась незначительным усилением сокращения гладкой мышцы до 103,7–105,8 % ( $P < 0,05$ ). На препаратах трахеи с ганглиями фаза усиления сокращения наступала на  $2,50 \pm 0,39$  минуте, на бронхах с ганглиями – на  $1,82 \pm 0,36$ . На препаратах без ганглия первая фаза наступала значительно позже и равнялась  $3,5 \pm 0,27$  минуты у трахеи и  $4,5 \pm 0,32$  минуты у бронхов.

Вторая фаза – снижение сокращения у всех препаратов трахеи и бронхов была примерно одинакова по величине и составляла 89,7–93,9 %. У препаратов с ганглиями она наступала достоверно ( $P < 0,05$ ) позже, чем первая фаза, – на  $4,8 \pm 0,66$  минуте у трахеи и на  $5,75 \pm 0,51$  минуте у бронхов. На препаратах без ганглия вторая фаза хотя и наступала после первой, но достоверной разницы во времени наступления первой и второй фаз выявлено не было.

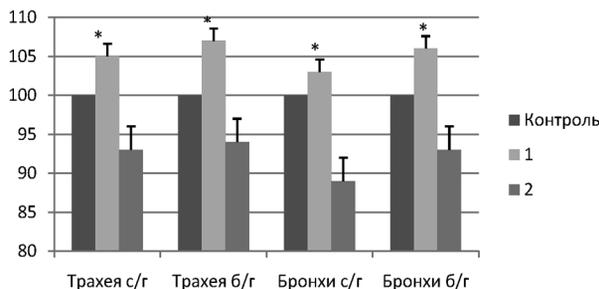


Рис. 2. Действие аденозина на фоне блокады эпителия индометацином. По оси абсцисс обозначены препараты. По оси ординат – изменения ответов гладкой мышцы в %. За 100 % приняты ответы гладкой мышцы, вызванные стимуляцией постганглионарных нервов, на фоне блокады индометацином. «Трахея с/г» – трахея с ганглиями. «Трахея б/г» – трахея без ганглиев. «Бронхи с/г» – бронхи с ганглиями; «Бронхи б/г» – бронхи без ганглиев. «1» – первая фаза действия аденозина, «2» – вторая фаза действия аденозина. \* – достоверное ( $P < 0,05$ ) отличие от контроля

### Активность гладкой мышцы трахеи и бронхов при активации С-волокон и ингибировании синтеза простагландинов

На фоне ингибирования синтеза простагландинов индометацином активация С-волокон дает изменение сокращения гладкой мускулатуры трахеи и бронхов с ганглиями при стимуляции постганглионарных нервов (рис. 3).

Увеличение сократительных ответов гладкой мышцы трахеи с ганглиями на  $2,91 \pm 0,80$  минуте составляло  $107,9 \pm 2,0$  %, а бронхов на  $3,10 \pm 0,74$

минуте  $108,1 \pm 1,6$  %. Вторая фаза снижения сокращения до  $94,4 \pm 2,9$  % на трахее наступала на  $4,82 \pm 0,56$  минуте, на бронхах снижение сокращения до  $91,4 \pm 2,4$  % регистрировалось на  $5,20 \pm 0,63$  минуте. На трахее и бронхах без ганглиев после ингибирования синтеза простагландинов капсаицин вызывал только уменьшение сокращения, вызванного стимуляцией постганглионарных нервов до  $84,4 \pm 3,7$  % на препаратах трахеи и до  $78,9 \pm 3,0$  % на бронхах. Различия между средними значениями сокращений гладкой мускулатуры с ганглиями и без ганглиев достоверны (при  $P < 0,05$ ).

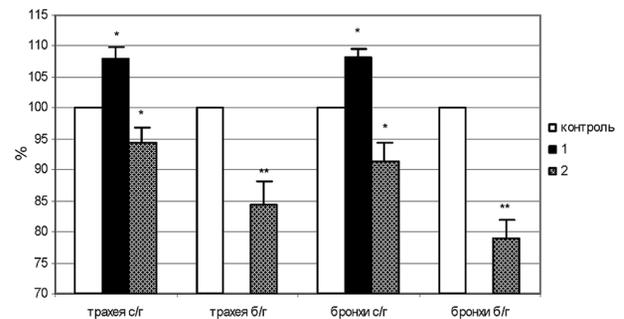


Рис. 3. Сократительные ответы гладкой мышцы трахеи и бронхов на фоне действия капсаицина и блокады эпителия индометацином. По оси абсцисс обозначены препараты. По оси ординат – изменения ответов гладкой мышцы в %. За 100 % приняты ответы гладкой мышцы, вызванные стимуляцией постганглионарных нервов на фоне индометацина. «Трахея с/г» – трахея с ганглиями. «Трахея б/г» – трахея без ганглиев. «Бронхи с/г» – бронхи с ганглиями. «Бронхи б/г» – бронхи без ганглиев. \*, \*\* – достоверное ( $P < 0,05$  и  $P < 0,01$  соответственно) отличие от контроля

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Респираторный эпителий играет большую роль в функционировании дыхательных путей, а также в развитии воспаления и бронхоспазма. В наших исследованиях эпителий усиливал сократительные ответы гладкой мышцы, а при его блокаде ответы уменьшались. Вероятно, его бронхоконстрикторное действие связано с синтезом простагландинов, усиливающих сокращение гладкой мускулатуры (PGF $2\alpha$  и других). Аналогичные результаты показали в своих исследованиях Argmour и Johnson на препаратах кролика. Они обнаружили, что сокращения, вызванные пре- и постганглионарным стимулированием, потенцировались простгландином F2 альфа (PGF $2\alpha$ ), вследствие чего наблюдалось их увеличение. PGF $2\alpha$  также потенцировал сокращения на внешний ацетилхолин в изолированных неиннервированных сегментах трахеи. Это говорит о том, что действие PGF $2\alpha$  связано непосредственно с гладкой мышцей. Эти эффекты PGF $2\alpha$  могут быть важными при воспалении,

которое сопровождается патологиями респираторного тракта [4].

При блокаде синтеза простагландинов индометацином на фоне активации С-волокон капсаицином в препаратах с ганглиями развивалась двухфазная реакция: сокращение сменялось расслаблением.

Исследования, проведенные Jolly и Desmecht на изолированных препаратах без применения стимуляции нервов, свидетельствуют о противоположном эффекте эпителия. При механическом удалении эпителиального слоя с препаратов трахеи и бронхов быка регистрировалось повышение сократительных ответов. Они утверждают, что эпителий обладает релаксационным эффектом на гладкую мышцу, который является независимым от H<sub>2</sub>- и H<sub>3</sub>-рецепторов [5]. Loenders и Jogens в своих опытах на морской свинке получили несколько иные результаты. Клетки эпителиального слоя оказывали пресинаптическое тормозное влияние на выпуск ацетилхолина, вызванный хлоридом калия и электрическим стимулированием, с уменьшением сокращения гладкой мышцы. Ответы, вызванные внешним ацетилхолином, действующие постсинаптически, также тормозились в присутствии эпителия. Однако эпителиальный эффект не объяснялся производством тормозных простагландинов или синтеза бронходилатирующего фактора – оксида азота. Кроме того, эпителий не функционировал как метаболический сайт для разложения ацетилхолина, что указывает на значительную роль каких-то других механизмов в действии эпителия [6]. Расхождение результатов, полученных нами, с результатами Jolly и Desmecht, Loenders и Jogens

можно объяснить высокой специфичностью функциональных показателей эпителия у различных групп животных. Каких-либо других сведений, касающихся изучаемой проблемы, в научной литературе нам не удалось обнаружить.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, можно сделать выводы о следующей роли простагландинов эпителия в сокращении гладкой мускулатуры трахеи и бронхов крысы. Эпителиальные простагландины при перфузии физиологического раствора способствуют повышению величины сократительных ответов, и при их блокаде ответы уменьшаются (то есть в качественном составе, синтезируемом респираторным эпителием простагландинов, преобладают простагландины констрикторного действия – PGF<sub>2</sub> $\alpha$  и др.). При ингибировании синтеза эпителиальных простагландинов бронхоконстрикторный эффект аденозина сохраняется. Констрикторный эффект капсаицина в отсутствие простагландинов сохраняется только в препаратах трахеи и бронхов с интрамуральными ганглиями; в препаратах без ганглиев констрикторное действие капсаицина исчезает, что указывает на роль нейронов метасимпатического интрамурального ганглия в сократительном ответе. Повидимому, основной сократительный ответ связан с запуском местной рефлекторной цепочки, проходящей через локализованный здесь интрамуральный ганглий. Однако при его отсутствии (препараты без ганглиев) начинает срабатывать иной механизм: влияние простагландинов на активность тахикининов С-волокон, определяющих дилатационный эффект.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирилина В. М., Смирнова Л. Е., Кивер Е. Н., Федин А. Н. Взаимодействия тучных клеток и гладкой мускулатуры в нижних дыхательных путях // Сборник материалов III международной научно-практической конференции. Северный Чарлстон, США, 2014. Т. 2. С. 6–11.
2. Смирнова Л. Е., Кивер Е. Н., Кирилина В. М. Влияние аденозина и гистамина на сократительную активность гладкой мускулатуры трахеи и бронхов крысы // Современные концепции научных исследований. М., 2014. № 4. Ч. 2. С. 6–8.
3. Федин А. Н., Кивер Е. Н., Смирнова Л. Е., Кирилина В. М., Кривченко А. И. Роль интрамуральных ганглиев дыхательных путей в действии гистамина // Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова. 2014. Т. 100. № 9. С. 1059–1067.
4. Armour C. L., Johnson P. R., Marthan R., Black J. L. Prostaglandin F<sub>2</sub> alpha augments the response to parasympathetic fibre stimulation in an isolated innervated preparation of rabbit trachea // Journal of Autonomic Pharmacology. 1988. Vol. 8. № 3. P. 251–258.
5. Jolly S., Desmecht D. Functional identification of epithelial and smooth muscle histamine-dependent relaxing mechanisms in the bovine trachea, but not in bronchi // Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology & Pharmacology. 2003. Vol. 134. № 1. P. 91–100.
6. Loenders B., Jogens P. G., Herman A. G. Epithelial modulation of cholinergic responses in rabbit trachea is partly due to neutral endopeptidase activity // European Journal of Pharmacology. 1996. Vol. 18. № 1. P. 89–96.
7. Varani K., Saramori G., Vincenzi F., Adcock I. Alteration of adenosine receptors in patients with chronic obstructive pulmonary disease // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. 2006. Vol. 173. № 174. P. 398–406.

8. Vass G., Horváth I. Adenosine and adenosine receptors in the pathomechanism and treatment of respiratory diseases // *Current Medicinal Chemistry*. 2008. Vol. 15. № 9. P. 917–922.

**Blazhevich L. E.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Kirilina V. M.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Kiver E. N.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Krivchenko A. I.**, Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the RAS  
(St. Petersburg, Russian Federation)

### EPITHELIAL PROSTAGLANDINS' ROLE IN RATS' SMOOTH MUSCLE CONTRACTION OF TRACHEA AND BRONCHI

The article considers the role of epithelial prostaglandins of lower respiratory tract of rats in contractile activity of smooth muscles of trachea and bronchi. Studies were conducted on isolated preparations with the use of electrical stimulations of postganglionic nerves (frequency – 30 stimuli, duration – 0,5 ms, amplitude – 20 V, duration of stimulation – 10 s). It was revealed that epithelial prostaglandins increase contractile activity of smooth muscles. In the study, we used adenosine and capsaicin as experimental analogues of the external environmental factors. Bronchoconstriction effects of adenosine persisted in spite of the inhibition of prostaglandin synthesis. Contractile activity of capsaicin was preserved only in the preparations with ganglia. The relaxation of muscles was observed in preparations without ganglia. It is probable that the influence of capsaicin epithelial prostaglandins decreases the activity of tachykinins C-fibers responsible for bronchoconstriction. At the same time, reduction of the smooth muscle contractions in preparations without ganglia may speak of the role played by the intramural nerve structures in the constricting effect mediated by the activation of C-fibers.

Key words: intramural ganglion, mast cells, PGE<sub>2</sub>, indomethacin

#### REFERENCES

1. Kirilina V. M., Smirnova L. E., Kiver E. N., Fedin A. N. The interaction between mast cells and smooth muscles in the lower respiratory tract [Vzaimodeystviya tuchnykh kletok i gladkoy muskylatury v nizhnikh dykhatel'nykh putyakh]. *Sbornik materialov III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The collection of materials of III international scientific-practical conference]. North Charleston, USA, 2014. Vol. 2. P. 6–11.
2. Smirnova L. E., Kiver E. N., Kirilina V. M. The effect of adenosine and histamine on the contractile activity of smooth muscles of the trachea and bronchi of the rat [Vliyaniye adenzozina i gistamina na sokratitel'nyuyu aktivnost' gladkoy muskylatury trakhei i bronkhov krysy]. *Sovremennyye kontseptsii nauchnykh issledovaniy* [Modern research concepts]. Moscow, 2014. № 4. Part 2. P. 6–8.
3. Fedin A. N., Kiver E. N., Smirnova L. E., Kirilina V. M., Krivchenko A. I. The role of intramural ganglia of the respiratory tract on the effect of histamine [Rol' intramural'nykh gangliov dykhatel'nykh putey v deystvii gistamina]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I. M. Sechenova* [Russian journal of physiology by I. M. Sechenov]. 2014. Vol. 100. № 9. P. 1059–1067.
4. Armour C. L., Johnson P. R., Marthan R., Black J. L. Prostaglandin F<sub>2</sub> alpha augments the response to parasympathetic fibre stimulation in an isolated innervated preparation of rabbit trachea // *Journal of Autonomic Pharmacology*. 1988. Vol. 8. № 3. P. 251–258.
5. Jolly S., Desmecht D. Functional identification of epithelial and smooth muscle histamine-dependent relaxing mechanisms in the bovine trachea, but not in bronchi // *Comparative Biochemistry and Physiology. Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2003. Vol. 134. № 1. P. 91–100.
6. Loenders B., Jorens P. G., Herman A. G. Epithelial modulation of cholinergic responses in rabbit trachea is partly due to neutral endopeptidase activity // *European Journal of Pharmacology*. 1996. Vol. 18. № 1. P. 89–96.
7. Varani K., Caramori G., Vincenzi F., Adcock I. Alteration of adenosine receptors in patients with chronic obstructive pulmonary disease // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2006. Vol. 173. № 174. P. 398–406.
8. Vass G., Horváth I. Adenosine and adenosine receptors in the pathomechanism and treatment of respiratory diseases // *Current Medicinal Chemistry*. 2008. Vol. 15. № 9. P. 917–922.

Поступила в редакцию 02.12.2015

**ОЛЬГА ИВАНОВНА ГАВРИЛОВА**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесного хозяйства и ландшафтной архитектуры Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*ogavril@petrsu.ru*

**ЕЛЕНА ОЛЕГОВНА ГРАФОВА**

кандидат технических наук, доцент кафедры организации строительного производства Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*jethel@rambler.ru*

**ПОЛИНА ГЕННАДЬЕВНА ГОЛЬДЕНБЕРГ**

государственный инспектор РФ по надзору в области использования и охраны водных объектов по РК, Управление Росприроднадзора по Республике Карелия (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*goldenbergl2008@inbox.ru*

## ФИТОТЕСТИРОВАНИЕ ПРИ ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫПУСКОВ СТОЧНЫХ ВОД ЗАГОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ\*

Рассматривается применение метода фитоиндикации для определения воздействия загрязненных сточных вод от жилых и промышленных объектов, имеющих собственные выпуски на рельеф или в водоемы. Применение метода позволяет наглядно определить негативное воздействие загрязненных стоков на почвенный растительный покров. Наблюдается яркое изменение видового разнообразия, а также массы и структуры растений. Актуальность примененного метода фитоиндикации состоит в независимости и достоверности результатов реакции растительности, демонстрирующих реальную картину влияния сбрасываемых загрязненных стоков. Метод является дешевым, независимым от человеческого фактора, не требующим дополнительных разрешений со стороны субъектов, осуществляющих сброс загрязненных стоков; контроль может осуществляться в любое время.

Ключевые слова: фитоиндикация, фитотестирование, оценка почвенного покрова, сброс стоков, выпуск стоков, водные объекты, загрязнение почв, проективное покрытие

### ВВЕДЕНИЕ

Сточные воды от туристических комплексов, коттеджных поселков, загородных домов сбрасываются на рельеф или в близлежащие водоемы с предварительной очисткой или без нее [1]. Помимо этого, на территории России действуют многочисленные топливные компании типа «ТНК-БП», «Лукойл», «Роснефть», которые построили и продолжают строить автозаправочные станции (АЗС) вдоль автомагистралей. Прибыльность АЗС растет при наличии в их составе придорожных кафе, мини-гостиниц, магазинов. Образующиеся при этом хозяйственно-бытовые стоки и содержащие нефтепродукты дождевые стоки, собираемые с территорий заправок, перед сбросом должны очищаться на локальных очистных сооружениях.

Немаловажную роль играет состояние дорожного полотна. В целях улучшения данной ситуации на протяжении нескольких лет ведется реконструкция основных федеральных дорожных артерий. Одна из таких строек – автодорога М-18

«Кола» от Санкт-Петербурга через Петрозаводск, Мурманск до границы с Норвегией.

С 1 января 2007 года введен в действие Водный кодекс РФ от 16.11.1995 № 167-ФЗ, согласно которому собственники водных объектов, а также физические и/или юридические лица, использующие их или прилегающие к ним территории, осуществляют мероприятия по охране водных объектов, предотвращению их загрязнения и истощения, принимают меры по ликвидации загрязнений.

При эксплуатации водохозяйственной системы запрещается:

- сбрасывать в водоемы сточные воды без очистки и обезвреживания, не соответствующие требованиям технических регламентов;
- проведение строительных, дноуглубительных, буровых и других работ, связанных с изменением дна и берегов водных объектов, в их водоохраных зонах, в границах водно-болотных угодий осуществляется в соответствии с требованиями законодательства в области ох-

раны окружающей среды и законодательства о градостроительной деятельности.

В связи с этим в проекты капитального ремонта автомобильных дорог Северо-Запада в разделе «Охрана окружающей среды» для участков, находящихся в водоохранной зоне, предусматривают локальные сооружения для очистных дождевых и талых вод.

Спектр модификаций сооружений локальной очистки весьма велик. Гарантом работы таких сооружений является сертификация оборудования. На сегодняшний день сертификация очистных сооружений носит добровольный характер и регламентируется Федеральным законом от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании». Сертификация гарантирует, что конструкции, из которых изготовлены сооружения, выполнены из качественного материала и не наносят вред человеку и окружающей среде. Также указываются методики определения эффективности работы сооружений и ожидаемый эффект очистки. Часто заявленные показатели очистки прописываются в соответствии с собственными техническими условиями и ссылкой на требования, которые принимаются Росприроднадзором и другими природоохранными организациями, а не фактическими показателями работы сооружений, которые часто кратно превышают заявленные.

В последние годы в России складывается неприглядная ситуация с государственным контролем эффективности работы канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов и отдельных предприятий.

Согласно ст. 67. «Производственный контроль в области охраны окружающей среды» Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», предприятия самостоятельно должны проводить производственный экологический контроль в процессе хозяйственной деятельности и мероприятий по охране окружающей среды. По вопросу водоснабжения – это проведение лабораторных анализов проб очищенных стоков перед сбросом в окружающую среду и учет предельно допустимых сбросов стоков.

Согласно ст. 65 «Государственный экологический надзор» Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», надзорные органы контролируют деятельность юридических лиц и частных граждан, а также проводят анализ и прогноз существующей ситуации.

Проверки специалистами Росприроднадзора часто подтверждают несоответствие качества сбрасываемых стоков по ряду причин: несоблюдение регламентов эксплуатации очистных

сооружений, отсутствие возможности финансирования строительства, реконструкции или эксплуатации очистных сооружений. Чаще всего представители эксплуатационных служб максимально эффективно приводят в рабочее состояние сооружения только перед проверкой контролирующими органами.

Учитывая возрастающее количество и разбросанность загородных объектов, ограниченные возможности контролирующих санитарных и природоохранных служб, целесообразно разработать доступные и недорогие методы и средства интегральной оценки эффективности природоохранных мероприятий природопользователями, демонстрирующих реакцию окружающей среды на постоянное воздействие сточных вод, даже в те периоды, когда проверки не производятся. Одним из таких методов является фитотестирование.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В целях разработки метода фитотестирования проанализированы работы по внешнему проявлению взаимодействия растений с загрязнителями. Так, высшие водные растения способны накапливать большое количество различных элементов. Например, камыш извлекает фенол из воды; заросли макрофитов способствуют всплыванию эмульгированной нефти и аккумуляции нефтяной пленки; элодея, уруть, роголистник, харовые водоросли принимают активное участие в детоксикации фенольных соединений. Водные растения поглощают хлорорганические пестициды.

Особенно большое значение имеют водные растения в концентрировании металлов, обуславливая их миграции. Например, элодея может накапливать до 35 мг меди на 1 кг своего веса, харовые водоросли – до 10,1 мг кобальта и до 218 мг цинка [4]. В поглощении и концентрировании растениями тяжелых металлов есть свои особенности, так, погруженные растения накапливают их в 4–9 раз интенсивнее, чем прибрежно-водные. Это обстоятельство следует учитывать при проведении работ по биомониторингу, и в первую очередь в качестве объектов наблюдений использовать полностью погруженные в воду виды растений. Также водные растения концентрируют и микроэлементы: марганец, никель, хром, молибден, ванадий, стронций, барий, железо, алюминий и др.

Важным достоинством высших растений является легкость отбора проб и возможность формирования чистых проб отдельных видов растений и даже их органов. Но при этом имеется и существенный недостаток – невозможность выявления по пробам высших растений началь-

ных этапов загрязнения водотоков и водоемов тяжелыми металлами.

К преимуществам метода фитотестирования следует отнести интегральную оценку ситуации; неограниченное число тестируемых веществ; как длительные, так и краткосрочные по времени исполнения; дешевизну; информативность; легкую тиражируемость; культура фитоиндикаторов легко поддерживается в лабораторных условиях; метод соответствует международным стандартам оценки качества воды, почвы и кормов. Успех фитотестирования во многом зависит от выбора тест-объекта. Одними из наиболее известных индикаторов являются лишайники, поскольку они распространены по всему земному шару и их реакция на внешнее воздействие очень сильна, а собственная изменчивость незначительна по сравнению с другими организмами (см. [6], [7]).

Чувствительность лишайников к загрязненности воздуха определяется:

- симбиотической природой;
- большой абсорбционной поверхностью (загрязняющие вещества поглощаются всей поверхностью таллома);
- высокой гидрофильностью;
- средой обитания (осадки, стекающие по стволу, содержат значительно более высокие концентрации поллютантов, чем осадки на открытых местах) [4];
- длительностью жизни.

Из всех групп лишайников наибольшей чувствительностью обладают лишайники-эпифиты, обитающие на коре деревьев, активно реагирующие на сернистый ангидрид, окислы азота, тяжелые металлы, фториды.

Таким образом, учитывая высокую чувствительность некоторых растений к воздействию антропогенного загрязнения, их можно использовать в качестве индикаторов. Однако для этого необходимо соблюдение следующих условий:

- воздействия должны приводить к заметной реакции растения;
- эффекты должны хорошо воспроизводиться и характеризоваться специфическими симптомами, свойственными воздействию конкретных загрязняющих веществ;
- растения должны обладать чувствительностью к низким концентрациям загрязняющих веществ и быть устойчивыми к болезням и вредителям.

Известно несколько эффектов воздействия загрязнения на растения, которые можно условно разделить на эффекты острого и хронического воздействия. Примерами первого типа являются хлороз или некроз ткани листьев, опадание

и свертывание листы, искривление стеблей. К эффектам хронического воздействия относится замедление или прекращение нормального роста и развития растений, медленное увядание растения или его органов.

Согласно данным ряда авторов (см. [2], [3]), повышенная концентрация загрязняющих веществ проявляется следующими признаками:

- появление ослабленных деревьев и сухостоев среди доминирующих видов;
- заметное уменьшение размеров хвои и листьев;
- преждевременное пожелтение и опадание листьев;
- депрессия прироста по высоте и диаметру деревьев;
- появление некрозов хвои и листьев, снижение срока жизни хвои;
- возрастание повреждений деревьев грибами и насекомыми;
- обеднение почвы питательными веществами и ее закисление.

В качестве объекта исследования сброса сточных вод выбрана одна из загородных баз отдыха «Русский Север». Очистка хозяйственно-бытовых стоков предусмотрена в два этапа:

- 1) очистка стоков на сооружениях очистки,
- 2) обеззараживание стоков перед сбросом.

Очистка стоков в специальном резервуаре – двухъярусном отстойнике, где осаждаются взвешенные вещества и разлагаются органические загрязнения с помощью анаэробных бактерий, всегда присутствующих в нечистотах. Обеззараживание стоков от патогенных бактерий перед сбросом в окружающую среду производится хлорсодержащими реагентами. Выпуск стоков осуществляется в ручей, который впадает в озеро Лососинное. Несмотря на то, что существующая схема очистки на базе неполная по современным меркам, даже она не работала: отстойник не очищался, обеззараживание не проводилось. Таким образом, сбрасываемые стоки содержат избыточное содержание азота, фосфора и других загрязнений.

Для оценки состояния территории, прилегающей к месту выпуска стоков, проведены следующие виды работ (рис. 1):

1. Определены границы территории, подвергающейся воздействию сточных вод.

2. На территории заложены учетные пробные площади размером  $1 \times 1$  м, расположенные по обе стороны канала на разном удалении от выпуска стоков. На пробных площадках с применением определителя растений Раменской [5] был определен видовой состав растений живого напочвен-

ного покрова и процент проективного покрытия каждым из видов.

3. На пробных площадках срезаны все растения до уровня почвы с последующей сушкой для определения общей массы и массы каждого из видов растений.

4. Проведен сбор и взвешивание хвои с еловых насаждений, находящихся в зоне влияния стоков и на расстоянии 30 м от ручья со стоками.

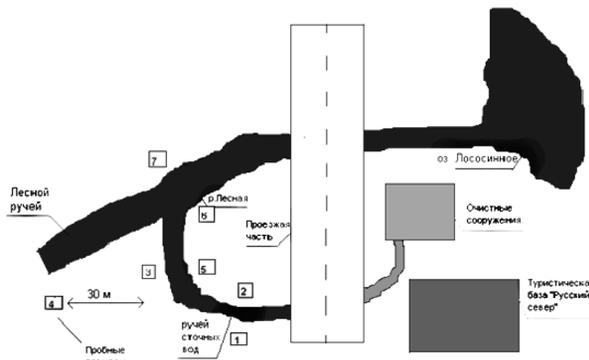


Рис. 1. Размещение пробных площадок исследуемого участка

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

**Определение проективного покрытия напочвенного покрова**

В ходе исследований определено проективное покрытие и видовой состав растений на 7 пробных площадках. Данные результаты показывают изменения, происходящие в напочвенном покрове, что косвенным образом указывает на возможное влияние сточных выбросов. На основании проведенных исследований по усредненным данным получены сведения о количестве и проективном покрытии основными видами живого напочвенного покрова исследуемого участка (рис. 2).

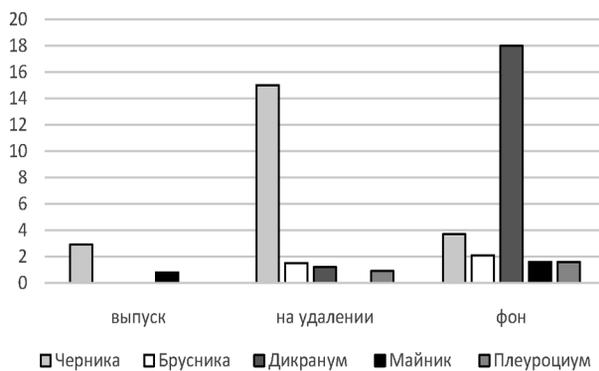


Рис. 2. Средний процент проективного покрытия видами живого напочвенного покрова вблизи выпуска стоков выше водоотводной канавы до выпуска

Средний процент проективного покрытия вблизи канавы показывает преобладание черники

и папоротника, а на удалении от канавы – мхов и лесных трав.

По мере удаления от выпуска стоков заметно увеличение количества и видового состава растений. На площадках, находящихся возле выпуска стока, растения занимают менее тридцати процентов площади, а на площадках после выпуска в месте впадения с лесным ручьем – более семидесяти процентов. Видовой состав с единичных пяти на двух площадках увеличивается до пяти и более видов растений на каждой последующей. Таким образом, по мере удаления от выпуска и разбавления стоков наблюдается увеличение присутствия видов лесной растительности.

После анализа растительности по степени удаления проанализирована растительность в связи с рельефом местности для определения воздействия загрязнений с положением пробных площадок на склоне.

Самое большое количество видов живого напочвенного покрова отмечено на площадках, находящихся на удалении от выпуска стоков и в месте смешения с лесным ручьем (пробы 4 и 7). Для площадок, находящихся ниже по ходу склона, характерно появление большего объема растительности в месте смешения с лесным ручьем (проба 6).

После выявления основных видов растительности, которые могут быть индикаторами загрязнения, построены графики, подтверждающие, что исчезновение тех или иных растений может показывать наличие загрязнения сточными водами (рис. 3).

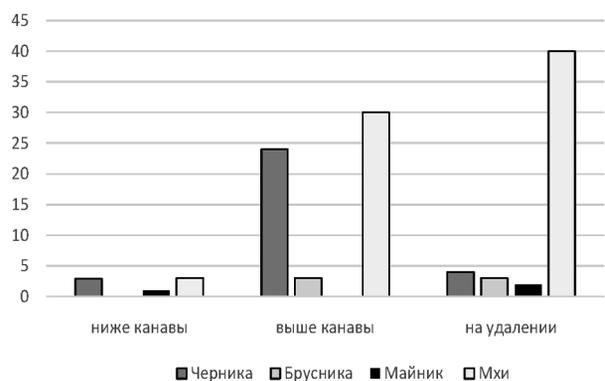


Рис. 3. Средний процент проективного покрытия растениями и зелеными мхами в связи с положением относительно канавы

В связи с тем что злаки на учетных площадках встречались единично только на открытых местах, их распространенность в большей степени зависит от освещенности местности, нежели от уровня загрязнения.

Таким образом, напочвенный покров отображает состояние почвы и показывает наличие в ней веществ или их количество, которые неблагоприятно влияют на эту растительность.

### Масса растений живого напочвенного покрова

После исследования массы живого напочвенного покрова по видам сделаны выводы о количестве трав, произрастающих около канавы, по которой ведется сброс сточных вод в зависимости от удаления от выпуска стоков (рис. 4). По мере удаления от выпуска стоков возрастает масса лесных видов, что безусловно говорит о влиянии стоков на состав напочвенного покрова.

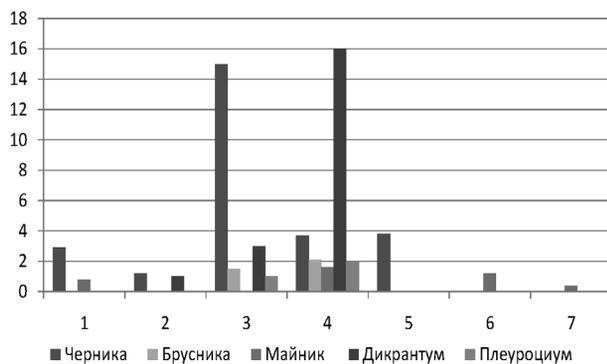


Рис. 4. Вес растений и зеленых мхов на площадях по ходу удаления от выпуска стоков

Не только количество напочвенного покрова, но и его размер и вес также могут указывать на то, что в районе сброса сточных вод имеется изменение химического состава почвы или накопления загрязнений, которые неблагоприятно влияют на растительность.

### Исследование хвои ели европейской

После проведения работ по замеру хвои ели были проведены вычисления основных статистических показателей. Средние длина и масса хвои ели европейской представлены на рис. 5.

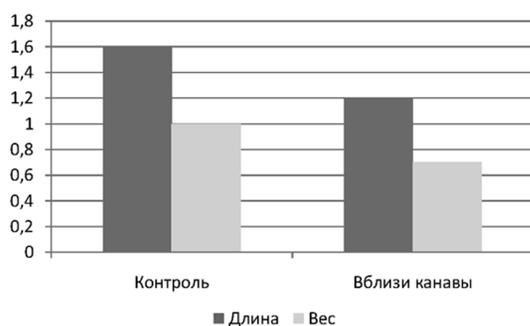


Рис. 5. Длина хвои и масса 100 шт. в контрольном насаждении и в лесу

Хвоя, собранная с ели европейской в районе выпуска стоков, меньше по весу и длине. Сред-

няя масса одной хвоинки в лесу составила 1,0 г, длина 1,6 см, в районе выпуска – 0,7 г и 1,2 см соответственно. Данный факт свидетельствует о влиянии соединений азота на растение, что подтверждается исследованиями химического анализа хвои, который показал большее количество азота в хвое.

### ВЫВОДЫ

Применение метода фитоиндикации позволяет наглядно определить негативное воздействие загрязненных стоков на почвенный растительный покров. Наблюдается яркое изменение видового разнообразия и изменения массы и структуры растений.

Актуальность примененного метода фитоиндикации состоит в независимости и достоверности результатов реакции растительности, демонстрирующих реальную картину качества сбрасываемых загрязненных стоков. Метод является дешевым, независимым от человеческого фактора, не требует дополнительных разрешений со стороны субъектов, осуществляющих сброс загрязненных стоков; контроль может осуществляться в любое время.

Двухгодичные наблюдения за участком, на который оказывают воздействие неочищенные сточные воды, показали, что по мере удаления от выпуска стоков наблюдается увеличение присутствия видов живого напочвенного покрова, характерных для лесной растительности. Рядом с выпуском стоков наблюдалось увеличение числа растений, характерных для более влажных и богатых почв. Преобладание злаковой растительности говорит о неблагоприятных факторах, связанных с загрязнением, однако растительность, более характерная для лугов и заболоченных площадей, свидетельствует о достаточно высоком плодородии почвы, что также связывается с воздействием на почву сточных вод, обогащенных органикой.

Таким образом, наблюдается изменение структуры естественного произрастания растительности исследуемого участка. Для определения одного или группы растений-индикаторов необходимо продолжать наблюдения. Необходимо проводить более полную оценку площади методом ленточного пересчета. Это позволит избежать случайностей и неточностей в расчетах и более детально увидеть всю картину загрязнения. Также планируется провести оценку по таким параметрам, как высота растения, размер листовой пластинки; оценить изменение общей массы растений на каждой пробной площади в связи с удалением от источника загрязнения.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетГУ на 2012–2016 гг.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аюкаев Р. И., Гольденберг П. Г., Графова Е. О. Совершенствование методов контроля эффективности работы канализационных очистных сооружений службами Росприроднадзора // Новые исследования в областях водоснабжения, водоотведения. Гидравлика и охрана водных ресурсов: Материалы междунар. конф. СПб.: ОМ-Пресс, 2011. С. 46–50.
2. Гаврилова О. И., Соколов А. И. Лесная рекультивация нарушенных земель на Севере: Учеб. пособие / Петрозавод. гос. ун-т, Ин-т леса Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 2001. 20 с.
3. Гусев А. П. Фитоиндикаторы техногенного подтопления в зоне влияния полигона промышленных отходов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: «Геология». 2015. № 1. С. 128–131.
4. Пчелкин А. В., Боголюбов А. С. Методы лишеноиндикации загрязнений окружающей среды: Метод. пособие. М.: Экосистема, 1997. 25 с.
5. Раменская М. Л., Андреева В. Н. Определитель высших растений Мурманской области и Карелии. Л.: Наука, 1982. 435 с.
6. Ferrat L., Pergent-Martini C., Romeo M. Assessment of the use of biomarkers in aquatic plants for the evaluation of environmental quality: application to seagrasses // *Aquat Toxicol.* 2003. Vol. 65. P. 187–204.
7. Shelef O. et al. Physiological parameters of plants as indicators of water quality in a constructed wetland // *Environmental Science and Pollution Research.* 2011. Vol. 18. № 7. С. 1234–1242.

---

**Gavrilova O. I.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Grafova E. O.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Gol'denberg P. G.**, Management of the Russian Natural Supervision in the Republic of Karelia  
(Petrozavodsk, Russian Federation)

#### PHITO-BIOLOGICAL TESTING IN IMPACT ASSESSMENT FROM SEWAGE OUTLETS OF SUBURBAN SITES

Application of the phito-indication method aimed at the assessment of the impact caused by polluted wastewater coming from residential and industrial facilities is discussed in the article. Application of the method is facilitative in the more precise determination of the negative impact caused by polluted wastewater on soil vegetation. A dramatic change in species diversity and alterations in the mass and structure of the plants were revealed. The relevance of the applied phytoindication method is based on its independence and reliability of the obtained results concerning vegetation reaction. It shows the real picture of the discharged wastewater quality. The method is cheap, independent from humans factors, does not require additional permission from the entities involved in the discharge of contaminated water. The assessment control can be performed at any time.

Key words: phyto-biological testing, phyto-indication testing, soil evaluation, sewage discharge, release of wastewater, water bodies, soil pollution, projective cover

#### REFERENCES

1. Ayukaev R. I., Gol'denberg P. G., Grafova E. O. Improvement of monitoring methods' effectiveness of sewage treatment facilities by environment supervision conservation service (Rosprirodnadzor) [Sovershenstvovanie metodov kontrolya effektivnosti raboty kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzheniy sluzhbbami Rosprirodnadzora]. *Novye issledovaniya v oblastiakh vodosnabzheniya, vodootvedeniya. Gidravlika i okhrana vodnykh resursov: Mezhdunarodnaya konferentsiya.* St. Petersburg, OM-Press Publ., 2011. P. 46–50.
2. Gavrilova O. I., Sokolov A. I. *Lesnaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' na Severe* [Forest reclamation of disturbed lands in the North]. Petrozavodsk, 2001. 20 p.
3. Gusev A. P. Bioindicator of technogenic flooding in the zone of influence of industrial waste landfill [Fitoindikatory tekhnogenogo podtopleniya v zone vliyaniya poligona promyshlennykh otkhodov]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Geologiya"*. 2015. № 1. P. 128–131.
4. Pchelkin A. V., Bogolyubov A. S. *Metody likhenoidikatsii zagryazneniy okruzhayushchey sredy* [Methods of lichenoidication environmental pollution]. Moscow, Ekosistema Publ., 1997. 25 p.
5. Ramenskaya M. L., Andreeva V. N. *Opredelitel' vysshikh rasteniy Murmanskoy oblasti i Karelii* [The determinant of higher plants of Murmansk region and Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1982. 435 p.
6. Ferrat L., Pergent-Martini C., Romeo M. Assessment of the use of biomarkers in aquatic plants for the evaluation of environmental quality: application to seagrasses // *Aquat Toxicol.* 2003. Vol. 65. P. 187–204.
7. Shelef O. et al. Physiological parameters of plants as indicators of water quality in a constructed wetland // *Environmental Science and Pollution Research.* 2011. Vol. 18. № 7. P. 1234–1242.

Поступила в редакцию 03.11.2015

**ОКСАНА ВАЛЕНТИНОВНА ЖУКОВА**

преподаватель кафедры фармакологии, организации и экономики фармации Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*zhykovaoxana@yandex.ru*

**ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА ОБУХОВА**

кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры неврологии, психиатрии и микробиологии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*obyhova\_elen@mail.ru*

**ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ХИЖКИН**

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологической физиологии животных, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)

*hizhkin84@mail.ru*

**МАРГАРИТА ЛЕОНИДОВНА ТЫНДЫК**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории канцерогенеза и старения, НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова Минздрава России (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

*margo\_159@mail.ru*

**ИРИНА АНАТОЛЬЕВНА ВИНОГРАДОВА**

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой фармакологии, организации и экономики фармации Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*irinav@petrsu.ru*

## **ОВУЛЯТОРНАЯ ФУНКЦИЯ КРЫС В УСЛОВИЯХ БЛОКАДЫ МЕЛАТОНИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ\***

Исследована возрастная динамика эстральной функции самок крыс, находящихся с рождения в условиях стандартного освещения и получающих с пятимесячного возраста ежедневно 5 дней в неделю вместе с питьевой водой в ночное время блокатор мелатониновых рецепторов – лузиндол (N-Acetyl-2-benzyl-tryptamine) в концентрации 10 мг/л. В возрасте три, шесть, девять, двенадцать и пятнадцать месяцев у животных ежедневно в течение двух недель брали влагалищные мазки и проводили цитологическое исследование с оценкой длительности эстрального цикла и соотношения фаз овуляторного цикла. Рассчитывали относительное число коротких, средних и длинных циклов; процентное соотношение фаз эстрального цикла; относительное число животных с иррегулярными циклами. В результате зафиксировано уменьшение количества коротких и увеличение количества длинных эстральных циклов через один месяц применения лузиндола. Установлено, что в условиях блокады мелатониновых рецепторов наблюдалось появление преждевременных возрастных изменений эстральной функции у самок крыс: достоверное уменьшение количества регулярных циклов и появление иррегулярных эстральных циклов (с 6-месячного возраста); более раннее увеличение продолжительности овуляторного цикла (с 9-месячного возраста). По всей видимости, блокада мелатониновых рецепторов могла привести к усилению секреции гонадолиберина и гонадотропина, в результате чего активация роста и развития фолликулов в яичниках способствовала более длительному выделению эстрогенов и изменению фаз овуляторного цикла. Несмотря на различные механизмы развития недостаточности мелатонинергической системы – снижение выработки мелатонина (при воздействии постоянного освещения) или блокада мелатониновых рецепторов (при применении лузиндола) – эффекты действия на овуляторную функцию схожи. При фармакологической блокаде мелатониновых рецепторов не было зафиксировано ни одного животного с синдромом персистирующего эструса, что косвенно указывает на наличие безрецепторной гормональной регуляции мелатонина через систему половых гормонов.

Ключевые слова: крысы, лузиндол, эстральный цикл

## ВВЕДЕНИЕ

Репродуктивная функция самок млекопитающих находится под контролем гипоталамуса, регуляторная деятельность которого осуществляется посредством гормона мелатонина [1]. Основным эффектом мелатонина заключается в торможении секреции тропных гормонов передней доли гипофиза и в модифицирующем влиянии на нейросекреторную активность гипоталамуса. Независимо от того, активно животное днем или ночью, максимальный уровень мелатонина наблюдается всегда во время темновой фазы естественного или искусственно созданного цикла чередования дня и ночи [11].

Известно, что введение лузиндола – антагониста мелатониновых рецепторов MT1 и MT2 значительно ослабляет эффекты экзогенного и эндогенного мелатонина [14], [16], [17]. Исходя из этого представляется интересным изучение функционирования репродуктивной системы самок млекопитающих в условиях угнетения мелатониновых сигнальных механизмов.

Целью данного исследования явилось изучение эстрального цикла самок крыс в условиях блокады мелатониновых рецепторов лузиндолом.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования были проведены на 40 самках крыс Вистар собственной разводки, первоначально полученных из питомника лабораторных животных «Пушино» (научно-производственное подразделение Филиала Института биоорганической химии им. академиков М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова, Московская область). Животных содержали при температуре воздуха в помещении  $22 \pm 2$  °C в клетках размером  $40 \times 60 \times 20$  см по 10 особей в каждой с обеспыленной подстилкой из древесной стружки. В помещении были соблюдены условия стандартного чередующегося режима освещения (12 ч. свет, 12 ч. темнота LD): люминесцентные лампы (освещенность 750 лк на уровне клеток) освещали помещение в течение 12 дневных часов, на ночь (12 ч.) свет отключали; окна в помещении отсутствовали.

Все крысы получали гранулированный корм (ГОСТ Р 50258-92 «Комбикорма полнорационные для лабораторных животных. Технические условия»: содержание протеина более 25 %, жиров 6–12 %, кальция и фосфора 1–1,4 %, лизина и метионина 0,7–1,5 %, микроэлементов и витаминов 3–4 %) и отстоянную водопроводную воду без ограничения.

Работа была выполнена с соблюдением международных принципов Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным, прин-

ципов гуманности, изложенных в директиве Европейского Сообщества (2010/63/EU), «Биоэтических правил проведения исследований на человеке и животных», «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных», «Санитарно-эпидемиологических требований к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)», «Руководства по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских технологиях» [12], [13].

В пятимесячном возрасте самки крыс были рандомизированно (по весу) разделены на две группы. Животные первой группы ( $n = 20$ ; LD + luz) получали ежедневно 5 дней в неделю с питьевой водой в ночное время с 20:00 до 08:00 лузиндол (N-Acetyl-2-benzyl-tryptamine) фирмы «Bachem AG» (Швейцария) в концентрации 10 мг/л. Поилки, в которых находился лузиндол, были изготовлены из темного непрозрачного полимерного материала. Свежий раствор препарата готовили ежедневно. Вторая группа ( $n = 20$ ; LD) в ночное время получала питьевую воду в том же объеме и явилась контрольной.

В возрасте три, шесть, девять, двенадцать и пятнадцать месяцев у животных ежедневно в течение двух недель брали влагалищные мазки для изучения эстральной функции. У грызунов содержимое влагалища в зависимости от фазы овуляторного цикла имело различный состав, который можно определить при микроскопировании. Весь овуляторный цикл крысы делился на следующие стадии: 1) диэструс, или стадия покоя; 2) проэструс, или стадия подготовки к течке; 3) эструс, или стадия течки; 4) метаэструс, или стадия после течки. В соответствии с данными фазами изменялся состав содержимого влагалища. Мазки готовили по общепринятой методике из влагалищного содержимого, полученного утром в одно и то же время посредством введения во влагалище крыс ватного тампона. Свежеприготовленные мазки без фиксации и окраски изучали под бинокулярным микроскопом при увеличении в 70 раз (об. 10, ок. 7) с опущенным конденсором микроскопа. Результаты исследования вагинального содержимого фиксировали в журнале. Проводили оценку следующих параметров: длительность эстрального цикла; соотношение фаз овуляторного цикла; относительное число коротких, средних и длинных циклов; процентное соотношение фаз эстрального цикла; относительное число животных с иррегулярными циклами [9].

Статистическую обработку цифрового материала проводили с использованием общеприня-

тых методов вариационной статистики в среде программы EXCEL. Достоверность результатов оценивали по непараметрическому U-критерию Уилкоксона – Манна – Уитни и методом  $\chi^2$ . Достоверно различающимися признавали значения при  $p < 0,01$  и  $p < 0,05$ ; при  $0,05 < p < 0,1$  различия между средними имели тенденцию к достоверности [8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

В физиологических условиях к возрасту 15–18 месяцев у крыс появляются признаки старения репродуктивной системы: короткие эстральные циклы исчезают, преобладают длинные овуляторные циклы (более 7 дней), снижается количество регулярных циклов, появляются иррегулярные циклы [3], [7].

В ходе наших исследований установлено, что в контрольной группе короткие циклы сохранялись и в зрелом возрасте, хотя их количество с возрастом достоверно снижалось с 54 % в 6 месяцев до 12 % к 15-месячному возрасту, причем уже в возрасте одного года количество коротких эстральных циклов было достоверно меньше ( $p < 0,05$ ). На втором году жизни у самок контроля преобладали циклы средней продолжительности (достоверное увеличение наблюдали также с 12-месячного возраста). В опытной группе установлена аналогичная закономерность, но при этом через месяц приема лизиндола доля коротких циклов достоверно уменьшилась по сравнению с группой контроля и в возрасте 6 месяцев составила всего 14 %, а в 15-месячном возрасте короткие эстральные циклы у крыс дан-

ной группы отсутствовали. Начиная с 6-месячного возраста в группе животных, получавших лизиндол, достоверно преобладали средние эстральные циклы. Различия исследуемых показателей контрольной и опытной групп начиная с возраста 6 месяцев являются достоверными ( $p < 0,05$ ) (таблица). В возрасте одного года у самок, получавших лизиндол, преобладали эстральные циклы с длительностью более 7 дней, в дальнейшем происходило перераспределение эстральных циклов разной длительности за счет появления иррегулярных овуляторных циклов. Доля длинных циклов с 6-месячного возраста в группе LD + luz была достоверно выше по сравнению с опытной группой. К 15-месячному возрасту данный показатель возрос до 29 % в группе контроля и до 42 % в группе, получавшей лизиндол. Установленные различия также являются достоверными ( $p < 0,05$ ). Полученные результаты свидетельствуют о более быстром старении репродуктивной системы крыс, подвергавшихся блокаде мелатониновых рецепторов при действии лизиндола.

В трехмесячном возрасте длительность эстрального цикла у самок крыс составляла  $3,7 \pm 1,1$  дня. В контрольной группе зафиксировано достоверное увеличение средней продолжительности овуляторного цикла к 12-месячному возрасту –  $5,2 \pm 1,2$  дня ( $p < 0,05$ ). В опытной группе длительность эстрального цикла уже в возрасте 6 месяцев была достоверно больше по сравнению с параметром, полученным в возрасте 3 месяцев, и составляла  $5,9 \pm 1,5$  дня ( $p < 0,05$ ). В последующие возрастные периоды данный

Возрастная динамика показателей эстральной функции у крыс

Возраст, мес.	Средняя продолжительность эстрального цикла, дни	Количество эстральных циклов разной длительности, %			Соотношение фаз овуляторного цикла, %		Число исследованных эстральных циклов, %	
		Короткие	Средние	Длинные	Эструсы	Диэструсы	Нормальные циклы	Иррегулярные циклы
Стандартное освещение (LD)								
6	4,8±1,4	54 <sup>a</sup>	43 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	37	63	100	0
9	4,9±1,9	47 <sup>a</sup>	43 <sup>a</sup>	10 <sup>b, a</sup>	58 <sup>b</sup>	42 <sup>b</sup>	93 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>
12	5,2±1,2 <sup>a</sup>	28 <sup>b, a</sup>	64 <sup>b, a</sup>	8 <sup>a</sup>	55 <sup>b</sup>	45 <sup>b</sup>	89 <sup>b, a</sup>	11 <sup>b, a</sup>
15	6,1±1,5 <sup>a</sup>	12 <sup>b, a</sup>	59 <sup>b</sup>	29 <sup>b, a</sup>	45	55	81 <sup>b, a</sup>	19 <sup>b, a</sup>
Стандартное освещение + лизиндол (LD + luz)								
6	5,9 ± 1,5 <sup>a</sup>	14 <sup>a</sup>	68 <sup>a</sup>	18 <sup>a</sup>	32	68	97	3
9	6,6 ± 2,0 <sup>a</sup>	9 <sup>a</sup>	64 <sup>a</sup>	27 <sup>a</sup>	64 <sup>b</sup>	36 <sup>b</sup>	88 <sup>b, a</sup>	12 <sup>b, a</sup>
12	7,2 ± 1,8 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	39 <sup>b, a</sup>	54 <sup>b, a</sup>	56 <sup>b</sup>	44 <sup>b</sup>	69 <sup>b, a</sup>	31 <sup>b, a</sup>
15	7,3 ± 1,8 <sup>a</sup>	0 <sup>b, a</sup>	58	42 <sup>b, a</sup>	41	59	67 <sup>b, a</sup>	33 <sup>b, a</sup>

Примечание. <sup>a</sup>  $p < 0,05$  – различия в группе с показателем в трехмесячном возрасте достоверны (критерий Уилкоксона – Манна – Уитни); <sup>b</sup>  $p < 0,05$  – различия в группе с показателем в шестимесячном возрасте достоверны (метод  $\chi^2$ ); <sup>a</sup>  $p < 0,05$  – различия с показателем в группе LD в соответствующем месяце достоверны (метод  $\chi^2$ ).

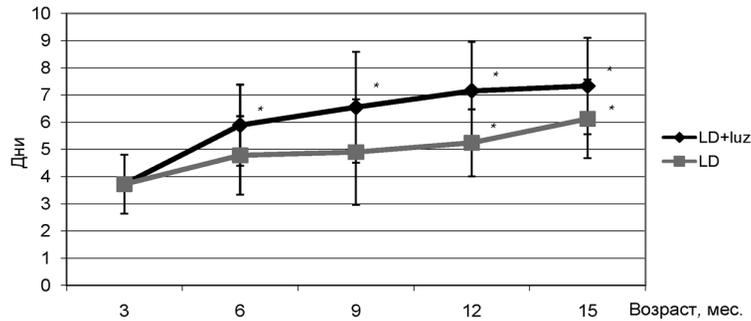


Рис. 1. Продолжительность эстрального цикла у самок крыс.  $p < 0,05$  – различия в группе с показателем в трехмесячном возрасте достоверны (критерий Уилкоксона – Манна – Уитни); LD – стандартное освещение; LD + luz – luzиндол

показатель достоверно увеличивался до  $7,3 \pm 1,8$  дня в возрасте 15 месяцев (рис. 1). В предыдущих исследованиях показано достоверное удлинение эстрального цикла с 8-месячного возраста у крыс-самок, находящихся в период прогрессивного роста в условиях естественной повышенной освещенности (белые ночи) или в условиях постоянного искусственного освещения [5], [6], [7]. Содержание животных в условиях постоянного или естественного освещения в период белых ночей приводило к нарушению работы шишковидной железы и угнетению продукции и секреции мелатонина – основного гормона эпифиза [1], что являлось причиной ранних возрастных изменений в репродуктивной системе крыс. В нашей работе применение luzиндола, блокирующего мелатониновые рецепторы, соответствовало эффектам, возникающим при физиологической эпифизэктомии, приводящей к угнетению выработки мелатонина. В других исследованиях показано, что искусственное увеличение продолжительности светового периода в течение дня даже на 2–4 часа, при котором не происходило достаточной секреции мелатонина, приводило у грызунов к увеличению продолжительности эстрального цикла, а в некоторых случаях – к его нарушению. Если воздействие света на крыс увеличить до 24 часов в сутки, у большинства из них в короткие сроки развивался синдром персистирующего (постоянного) эструса [2], [3]. В наших исследованиях применение luzиндола приводило у крыс-самок к более раннему увеличению средней продолжительности овуляторного цикла с возраста 9 месяцев, таким образом, показатели, полученные при помощи фармакологической блокады мелатониновых рецепторов, соответствовали параметрам при так называемой физиологической пинеалэктомии, которая достигается постоянным освещением животных [5], [6], [7].

При изучении соотношения фаз овуляторных циклов установлена тенденция к уменьшению доли диэструсов и увеличению доли эструсов

с возрастом в обеих группах (см. табл.). У крыс группы LD доля диэструсов в 6 месяцев составила 63 %, в 15 месяцев – 55 %, у крыс группы LD + luz аналогичный показатель равнялся 68 % в возрасте 6 месяцев и 59 % в возрасте 15 месяцев. Соответственно, доля эструсов у крыс-самок контрольной группы в 6-месячном возрасте составляла 37 %, а у крыс-самок опытной группы – 32 %. С возрастом в контрольной группе количество эструсов изменялось незначительно, в то время как в опытной группе количество эструсов увеличилось в два раза в возрасте 9 месяцев, затем уменьшилось к 15 месяцам и составило 41 % от общего количества фаз овуляторного цикла. Достоверных различий данных показателей между группами не установлено.

С возрастом у животных было зафиксировано появление иррегулярных циклов. В группе контроля данный показатель впервые был отмечен в 9 месяцев и составил 3 % от общего количества. Достоверное увеличение доли иррегулярных циклов наблюдалось с 12-месячного возраста. В опытной группе данный показатель зафиксирован раньше – в возрасте 6 месяцев. Достоверное увеличение доли иррегулярных циклов отмечено с 9 месяцев. В 15 месяцев у животных опытной группы зафиксировано максимальное количество иррегулярных циклов – 33 %, у животных контрольной группы – 19 %. Достоверные различия между группами наблюдались с возраста 9 месяцев (рис. 2). В исследованиях Д. А. Батурина, И. Н. Алимовой и др. у мышей HER-2/neu, содержащихся с 2 месяцев при постоянном освещении, в возрасте 9 месяцев иррегулярные циклы обнаруживали у 76 % самок, в то время как у животных, содержащихся в стандартном режиме, у 50 % самок [4]. В других исследованиях при содержании крыс в условиях постоянного и характерного для Карелии естественного освещения с периодом белых ночей отмечено появление иррегулярных циклов в молодом (5-месячном) возрасте. К 23-месячному возрасту количество иррегу-

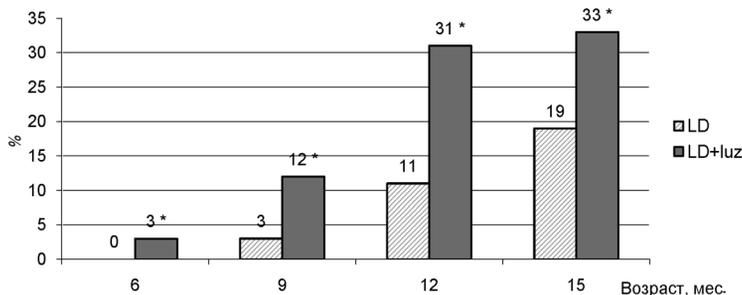


Рис. 2. Количество иррегулярных циклов (%) у самок крыс. \*  $p < 0,05$  – различия с показателем в группе LD в соответствующем месяце достоверны (метод  $\chi^2$ ). Обозначения, как на рис. 1

лярных циклов у животных этих групп возросло до 80 и 64 % соответственно [5]. По данным Д. В. Клочкова и Д. К. Беляева, продолжительное освещение с 2-месячного возраста крыс Вистар в течение 1, 2 или 6 месяцев приводило к появлению персистирующего эструса у 24, 61 и 100 % животных соответственно [10]. В другом исследовании у 100 % крыс Вистар отмечали постоянный эструс при содержании с 4-месячного возраста в течение 3 месяцев в условиях постоянного освещения [15]. В отличие от данных экспериментов в наших исследованиях не установлено наличие персистирующего эструса в опытной группе, что косвенно указывает на различие в ответах репродуктивной системы на снижение выработки мелатонина или блокаду мелатониновых рецепторов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе десятимесячного исследования эстральной функции крыс-самок, получающих с возраста 5 месяцев luzиндол, выявлены ранние возрастные изменения репродуктивной системы по сравнению с группой контроля. У крыс опытной группы зафиксировано достоверное более раннее увеличение продолжительности овуляторного цикла с 9-месячного возраста, снижение количества регулярных циклов, появление иррегулярных циклов, уменьшение

количества коротких и увеличение количества длинных эстральных циклов через 1 месяц приема luzиндола. Вероятно, применение luzиндола, результатом действия которого является блокада мелатониновых рецепторов, приводило к более выраженным возрастным изменениям репродуктивной системы. По всей видимости, блокада мелатониновых рецепторов, находящихся в гипофизе и гипоталамусе, могла привести к усилению секреции гонадолиберина и гонадотропинов, в результате чего активация роста и развития фолликулов в яичниках способствовала более длительному выделению эстрогенов и изменению фаз овуляторного цикла. Несмотря на различные механизмы развития недостаточности мелатонинергической системы (снижение выработки мелатонина при воздействии постоянного освещения [5], [6], [7] и блокада мелатониновых рецепторов при применении luzиндола), эффекты действия на овуляторную функцию схожи: нарушения, возникающие в работе репродуктивной системы, характеризуются более быстрыми возрастными изменениями эстрального цикла. При фармакологической блокаде мелатониновых рецепторов не зафиксировано ни одного животного с синдромом персистирующего эструса, что косвенно указывает на наличие безрецепторной гормональной регуляции мелатонина через систему половых гормонов.

\* Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг. «Университетский комплекс ПетрГУ в научно-образовательном пространстве Европейского Севера: стратегия инновационного развития», «УМНИК – 2013» и гранта РФФИ № 15-34-50841.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов В. Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения: В 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Наука, 2008. Т. 1. 468 с.
2. Анисимов В. Н., Айламазян Э. К., Батурин Д. А. Световой режим, ановуляция и риск злокачественных новообразований женской репродуктивной системы: механизмы связи и профилактика // Журнал акушерства и женских болезней. 2003. Т. 52. № 2. С. 47–57.
3. Анисимов В. Н., Батурин Д. А., Айламазян Э. К. Эпифиз, свет и рак молочной железы // Вопросы онкологии. 2002. Т. 48. № 4–5. С. 524–535.

4. Батурин Д. А., Алимова И. Н., Попович И. Г., Анисимов В. Н., Забежинский М. А., Яшин А. И., Семенченко А. В. Влияние световой депривации на показатели гомеостаза, продолжительность жизни и развитие спонтанных опухолей у трансгенных мышей HER-2/neu // Вопросы онкологии. 2004. Т. 50. № 3. С. 332–338.
5. Виноградова И. А., Чернова И. В. Влияние светового режима на возрастную динамику эстральной функции и уровня пролактина в сыворотке крови у крыс // Успехи геронтологии. 2006. № 19. С. 60–65.
6. Виноградова И. А., Чернова И. В. Световые режимы и овуляторная функция у крыс в онтогенезе // Российский физиологический журнал. 2007. Т. 93. № 1. С. 90–98.
7. Гайдин И. В., Баранова Ю. П., Виноградова И. А. Влияние продолжительности светового дня в условиях Карелии на показатели эстральной функции у самок крыс // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2011. № 6 (119). С. 45–49.
8. Зайцев В. М., Лифляндский В. Г., Маринкин В. И. Прикладная медицинская статистика. СПб., 2006. 432 с.
9. Кабак Я. М. Практикум по эндокринологии. Основные методики экспериментально-эндокринологических исследований. М.: Изд-во МГУ, 1968. 153 с.
10. Клочков Д. В., Беляев Д. К. Эффект постоянного освещения на репродуктивную функцию крыс // Онтогенез. 1977. Т. 8. № 5. С. 487–496.
11. Мелатонин: теория и практика / А. Ю. Беспярых [и др.]; Под ред. С. И. Рапопорта, В. А. Голиченкова. М.: Медпрактика, 2009. 99 с.
12. Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских исследованиях / Под ред. Н. Н. Каркищенко, С. В. Грачева. М.: Профиль, 2010. 358 с.
13. Этическая экспертиза биомедицинских исследований: Практические рекомендации / Под ред. Ю. Б. Белоусова. М.: Российское общество клинических исследований, 2005. 156 с.
14. Drobniak J., Owczarek K., Pitera L., Tosik D., Olczak S., Ciosek J., Hrabec E. Melatonin-induced augmentation of collagen deposition in cultures of fibroblasts and myofibroblasts is blocked by luzindole – A melatonin membrane receptors inhibitor // Pharmacological reports. 2013. Vol. 65. № 3. P. 642–649.
15. Prata Lima M. F., Baracat E. C., Simoes M. J. Effects of melatonin on the ovarian response to pinealectomy or continuous light in female rats: similarity with polycystic ovary syndrome // Brazil. J. Med. Biol. Res. 2004. Vol. 37. P. 987–995.
16. Soares J. M., Masana M. I., Ersahin C., Dubocovich M. L. Functional melatonin receptors in rat ovaries at various stages of the estrous cycle // J. Pharmacol. Exp. Ther. 2003. № 306 (2). P. 694–702.
17. Winczyk K., Fuss-Chmielewska J., Pawlikowski M., Karasek M., Lawnicka H. Luzindole but not 4-phenyl-2-propionamidotetralin (4P-PDOT) diminishes the inhibitory effect of melatonin on murine Colon 38 cancer growth in vitro // Neuroendocrinology letters. 2009. Vol. 30. P. 657–662.

**Zhukova O. V.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

**Obukhova E. S.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

**Khizhkin E. A.**, Institute of Biology KarRC of the RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

**Tyndyk M. L.**, Oncology Institute. N. N Petrova, Russian Ministry of Health (St. Petersburg, Russian Federation)

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

## RATS' OVULATORY FUNCTION UNDER MELATONIN RECEPTORS' BLOCKADE

The paper investigates the problem of age dynamics of the estrous function in female rats under standard lighting from the time of birth. On the daily basis, 5 days a week, beginning from the age of five months the rats received along with drinking water a blocker melatonin receptor – luzindol (N-Acetyl-2-benzyl-tryptamine) at the concentration level of 10 mg / l. At the age of three, six, nine, twelve, and fifteen months daily, for a period of two weeks, vaginal smears and cytological examination was performed to estimate the length of the estrous cycle and the phase relationship in ovulatory cycle. The number of short, medium and long cycles; the percentage of the phases of the estrous cycle; relative number of animals with irregular cycles were calculated. As a result, it recorded a decrease in the amount of short cycles and an increase in the amount of long estrous cycles after one month of luzindol application. It was found out that melatonin receptor blockade influence the appearance of premature aging changes in female rats: a significant decrease in the number of regular cycles and stable occurrence of irregular estrous cycles (6 months of age); earlier prolongation of ovulatory cycle (9 months of age). Apparently, melatonin receptor blockade could lead to an increased secretion of gonadotropins and gonadoliberrines. This resulted in the activation of the follicles' growth and ovaries' development and contributed to a sustained release of estrogen and the phase change in the ovulatory cycle. Despite different mechanisms affecting the failure in melatonergic system: loss of melatonin (under the influence of constant light) or melatonin receptor blockade (usage of luzindol) – the effects of actions on the ovulatory function is similar. No rodents with the syndrome of persistent estrus were registered under the pharmacological blockade of melatonin receptor. The obtained results point to the presence of hormonal regulation through sexual hormones.

Keywords: rats, luzindol, estrous cycle

## REFERENCES

1. Anisimov V. N. *Molekulyarnye i fiziologicheskie mekhanizmy stareniya* [Molecular and physiological mechanisms of aging]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2008. Vol. 1. 468 p.
2. Anisimov V. N., Aylamazyan E. K., Baturin D. A. Light regime, anovulation and the risk of malignant neoplasms of the female reproductive system: communication mechanisms and prevention [Svetovoy rezhim, anovulyatsiya i risk zlokachest-

- vennykh novoobrazovaniy zhenskoy reproduktivnoy sistemy: mekhanizmy svyazi i profilaktika]. *Zhurnal akusherstva i zhen-skikh bolezney*. 2003. Vol. 52. № 2. P. 47–57.
3. Anisimov V. N., Baturin D. A., Aylamazyan E. K. Epiphysis, light and breast cancer [Epifiz, svet i rak molochnoy zhelezy]. *Voprosy onkologii*. 2002. Vol. 48. № 4–5. P. 524–535.
  4. Baturin D. A., Alimova I. N., Popovich I. G., Anisimov V. N., Zabezinskiy M. A., Yashin A. I., Semenchko A. V. Influence of light deprivation on the performance of homeostasis, life expectancy and spontaneous tumor development in transgenic mice, HER-2 / neu [Vliyaniye svetovoy deprivatsii na pokazateli gomeostaza, prodolzhitel'nost' zhizni i razvitiye spontannykh opukholey u transgennykh myshey HER-2/neu]. *Voprosy onkologii*. 2004. Vol. 50. № 3. P. 332–338.
  5. Vinogradova I. A., Chernova I. V. Effect of light regime on the age dynamics of estrous function and the level of prolactin in the blood serum of the rats [Vliyaniye svetovogo rezhima na vozrastnuyu dinamiku estral'noy funktsii i urovnya prolaktina v syvorotke krovi u kryss]. *Uspekhi gerontologii*. 2006. № 19. P. 60–65.
  6. Vinogradova I. A., Chernova I. V. Light modes and ovulatory function in rats in ontogenesis [Svetovyye rezhimy i ovulyatornaya funktsiya u kryss v ontogeneze]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal*. 2007. Vol. 93. № 1. P. 90–98.
  7. Gaydin I. V., Baranova Yu. P., Vinogradova I. A. The influence of the length of the day in Karelian conditions on the performance of the estrous function in female rats [Vliyaniye prodolzhitel'nosti svetovogo dnya v usloviyakh Karelii na pokazateli estral'noy funktsii u samok kryss]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2011. № 6 (119). P. 45–49.
  8. Zaytsev V. M., Lifyandskiy V. G., Marinkin V. I. *Prikladnaya meditsinskaya statistika* [Applied Medical Statistics]. St. Petersburg, 2006. 432 p.
  9. Kabak Ya. M. *Praktikum po endokrinologii. Osnovnyye metodiki eksperimental'no-endokrinologicheskikh issledovaniy* [Workshop on endocrinology. Basic techniques of experimental endocrinology research]. Moscow, MGU Publ., 1968. 153 p.
  10. Klochkov D. V., Belyaev D. K. The effect of constant light on the reproductive function of rats [Effekt postoyannogo osveshcheniya na reproduktivnuyu funktsiyu kryss]. *Ontogenez*. 1977. Vol. 8. № 5. P. 487–496.
  11. *Melatonin: teoriya i praktika* [Melatonin: Theory and Practice] / A. Yu. Bespyatykh i dr. Moscow, Medpraktika Publ., 2009. P. 99.
  12. *Rukovodstvo po laboratornym zivotnym i al'ternativnym modelyam v biomeditsinskikh issledovaniyakh* [Guidelines for laboratory animals and alternative models in biomedical research] / Ed. by N. N. Karkishchenko, S. V. Grachev. Moscow, Profil' Publ., 2010. 358 p.
  13. *Eticheskaya ekspertiza biomeditsinskikh issledovaniy: Prakticheskie rekomendatsii* [Ethical review of biomedical research. Practical advice] / Ed. by Yu. B. Belousov. Moscow, Rossiyskoe obshchestvo klinicheskikh issledovaniy Publ., 2005. 156 p.
  14. Drobnik J., Owczarek K., Piera L., Tosik D., Olczak S., Ciosek J., Hrabec E. Melatonin-induced augmentation of collagen deposition in cultures of fibroblasts and myofibroblasts is blocked by luzindole – A melatonin membrane receptors' inhibitor // *Pharmacological reports*. 2013. Vol. 65. № 3. P. 642–649.
  15. Prata Lima M. F., Baracat E. C., Simones M. J. Effects of melatonin on the ovarian response to pinealectomy or continuous light in female rats: similarity with polycystic ovary syndrome // *Brazil. J. Med. Biol. Res*. 2004. Vol. 37. P. 987–995.
  16. Soares J. M., Masana M. I., Ersahin C., Dubocovich M. L. Functional melatonin receptors in rat ovaries at various stages of the estrous cycle // *J. Pharmacol. Exp. Ther*. 2003. № 306 (2). P. 694–702.
  17. Winczyk K., Fuss-Chmielewska J., Pawlikowski M., Karasek M., Lawnicka H. Luzindole but not 4-phenyl-2-propionamidotetralin (4P-PDOT) diminishes the inhibitory effect of melatonin on murine Colon 38 cancer growth in vitro // *Neuroendocrinology letters*. 2009. Vol. 30. P. 657–662.

Поступила в редакцию 22.09.2015

**ФРАНЦ АЛЕКСАНДРОВИЧ МИСЮН**

кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной хирургии, лор-болезней, офтальмологии, стоматологии, онкологии, урологии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*transophttech@mail.ru*

**ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ ВАПИРОВ**

доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*vapirov@petrsu.ru*

**ИННА ЮРЬЕВНА ПОРОМОВА**

кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной хирургии, лор-болезней, офтальмологии, стоматологии, онкологии, урологии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*poromova.5@yandex.ru*

**ИЛЬЯ ОЛЕГОВИЧ ГАВРИЛЮК**

соискатель кафедры госпитальной хирургии, лор-болезней, офтальмологии, стоматологии, онкологии, урологии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
*iluayaks@gmail.com*

## МИКРОХИРУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС МИСЮНА ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И ИЗУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОЗА РОГОВИЦЫ ГЛАЗА

### I. Микрохирургический инструмент для внедрения микрочастиц в роговицу глаза экспериментального животного

Запатентованные инновационные принципы конструкторских решений позволили впервые создать микрохирургический комплекс для введения микрочастиц в роговицу глаза экспериментальных животных. Микрохирургический комплекс состоит из устройства для изготовления микрочастиц, инструмента для захвата, удержания и дозированного перемещения микрочастиц, универсального микрохирургического инструмента для формирования микрораны в роговице глаза экспериментального животного, микрохирургического инжектора для введения микрочастиц в микроскопическую рану на дозированную глубину и устройства для работы с этим инжектором. Применение данного комплекса в эксперименте позволило воспроизвести травму роговицы глаза инородными телами, что открывает широкие возможности ее клинического, гистологического и биохимического изучения.

Ключевые слова: роговица глаза, инородные тела роговицы, микрохирургический инструмент

На сегодняшний день, ввиду техногенных катастроф, стихийных бедствий, террористических актов и непрекращающихся военных конфликтов, на передний план выходит массовость поражений, среди которых частота травм глаза инородными телами значительно возросла. Так, по данным [8], только 10 % глазных инородных тел имеют место в промышленном и бытовом травматизме, а остальные 90 % получены в результате военных конфликтов. При этом наблюдается значительное увеличение процентного соотношения глазных травм к общему числу ранений, полученных в условиях военных конфликтов. С середины IX до конца XX века этот показатель увеличился почти в 23 раза [10], [13].

Кроме того, в настоящее время с особой остротой встает проблема минно-взрывного характера поражения глаз в результате террористических актов. При этом процент глазных ранений с 1969 по 2001 год увеличился почти в 32 раза [9], [12]. Травма глаза в 2001 году во время теракта во Всемирном торговом центре США достигла 26,0 % [9].

Общеизвестно, что среди прочих повреждений глаза травмы роговицы являются наиболее частыми. Среди травм переднего отрезка глаза инородные тела роговицы составляют от 40 до 69 %. Эта травма роговицы приводит к нарушению ее прозрачности, что вызывает снижение или потерю зрения.

Несмотря на очевидную актуальность изучения травм роговицы инородными телами, следует отметить, что на сегодняшний день отсутствует изученная картина течения этого травматического процесса. Это обусловлено:

1. Многофакторностью поражений (инородные тела разной химической структуры и величины, разное их количество, разная глубина залегания и т. д.).
2. Разрозненностью клинических наблюдений (эти наблюдения клиницисты получают в момент обращения пациентов к разным окулистам на разных стадиях течения травматических процессов, что позволяет фиксировать только фрагменты течения патологии и не создает единой полной картины течения этой травмы).
3. Незнанием травм роговицы глаза инородными телами в эксперименте.

Единственная возможность воссоздать клинико-анатомический комплекс симптомов, характеризующий эту патологию, раскрыть патогенез ее развития и возможности терапевтического и хирургического лечения – воспроизвести эту патологию в эксперименте [1]. При этом вполне понятно, что полной аналогии с течением этого травматического процесса в роговице глаза человека в силу разной специфики анатомических структур нам не получить, но мы сможем получить необходимые знания о моделируемом объекте [2], [7].

Проблема внедрения инородных тел в роговицу глаза экспериментального животного заключается в том, что ее толщина у половозрелого кролика колеблется в пределах 0,3–0,4 мм [11], а у неполовозрелого животного может быть в пределах 0,2–0,3 мм. Указанные размеры роговицы накладывают ограничения не только на размеры внедряемых микрочастиц, которые должны быть соразмерны глубине внедрения, но и на инструменты. Для решения данной проблемы необходимо было разработать технологию и изготовить микрочастицы, микрохирургические инструменты и устройства.

### Устройство для изготовления микрочастиц

Устройство для изготовления микрочастиц (УМ) монтируется на пластмассовом прямоугольном основании и состоит из пластины, режущего лезвия и трубчатого сегмента. Пластина расположена перпендикулярно основанию и жестко соединена с ним. С одной стороны в нее подвижно вмонтировано режущее лезвие с ручкой. Лезвие имеет одностороннюю заточку, плоской частью обращенную к пластине. Движение его ниже трубчатого сегмента ограничено стопором.

С другой стороны пластины смонтировано устройство для фиксации сменных трубчатых сегментов, что позволяет подобрать их под необходимый диаметр проволоки. Трубчатый сегмент с одной стороны имеет конусовидное расширение, куда вставляется проволока и выдвигается с другой стороны для нарезания. Фиксация трубчатого сегмента осуществляется так, чтобы его конец, из которого выдвигается проволока, занимал положение, соответствующее нулевой отметке микрометрической шкалы. Микрометрическая шкала вмонтирована в пластмассовое основание, расположенное ниже трубчатого сегмента.

Под заранее изготовленный диаметр проволоки подбирается трубчатый сегмент, который стандартно фиксируется и заряжается проволокой. Под контролем микроскопа, ориентируясь по микрометрической шкале, проволока выдвигается на необходимую длину. Опусканием лезвия проволока разрезается точно в месте выходного отверстия.

### Инструмент для захвата, удержания и дозированного перемещения микрочастиц [3]

Ни один из существующих офтальмохирургических инструментов не позволяет захватывать, удерживать и дозированно перемещать необходимые для внедрения микрочастицы. То есть принцип механического захвата, удержания и дозированного перемещения микрочастиц не срабатывает.

Разработанный, изготовленный и защищенный патентом на изобретение Инструмент для захвата, удержания и дозированного перемещения микрочастиц (ИЗУДП) состоит из корпуса 1, силиконовой насадки 2 и силиконовой ручки 3 (рис. 1).

Корпус инструмента изготовлен из стекла и представляет полую цилиндрическую трубку, которая конусообразно сужается к концевой части,

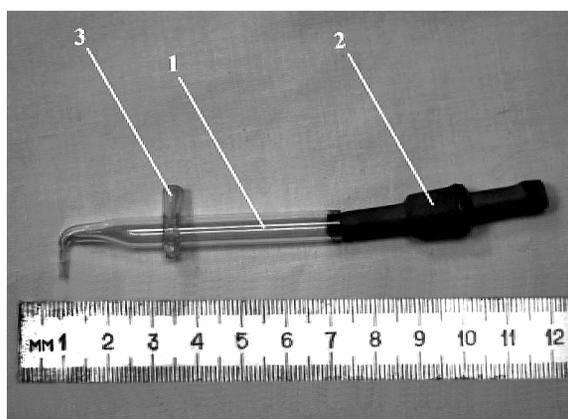


Рис. 1. Инструмент для захвата, удержания и дозированного перемещения микрочастиц

переходя в изгиб. Этот изгиб предотвращает выпадение микрочастиц из инструмента. Прозрачность стекла позволяет визуально контролировать положение микрочастиц.

Эластическая силиконовая насадка имеет вид полой трубки с одним закрытым концом. Другой конец этой насадки надет на цилиндрическую часть корпуса. Назначение эластической силиконовой насадки заключается в изменении давления воздуха внутри инструмента, что обеспечивает движение воздушной струи как в инструмент, так и из него. Силиконовая ручка, надетая на корпус инструмента, обеспечивает удобную фиксацию его в руке.

Для захвата микрочастицы необходимо сжать силиконовую пневмонасадку, частично выпустив воздух из инструмента. Кончик инструмента поднести к микрочастице и, отпустив силиконовую насадку, воздушной струей захватить ее в инструмент. Затем поднести кончик инструмента к головке инжектора и сжатием силиконовой пневмонасадки воздушным потоком доставить микрочастицу в головку.

#### **Универсальный микрохирургический инструмент для формирования микрораны в роговице глаза экспериментального животного [5]**

Универсальный микрохирургический инструмент для формирования микрораны в роговице глаза экспериментального животного (МИ) состоит из ручки 1, конусовидного перехода 2 и рабочей части 3 (рис. 2).

Ручка имеет цилиндрическую форму с насечками, которые обеспечивают удобство манипуляций.

Конусовидный переход к рабочей части состоит из трубчатых сегментов 4, уменьшающихся в диаметре и впрессованных друг в друга. Это позволяет удлинять или укорачивать инструмент за счет изменения количества сегментов. Меняя

диаметр последнего трубчатого сегмента, в который вставляется рабочая часть, мы получаем возможность широко варьировать технические параметры рабочей части инструмента, что дает возможность формировать микроканал в роговице глаза разного диаметра и глубины.

Рабочая часть инструмента имеет плоско-изогнутую форму с колюще-режущим рабочим кончиком и плоской тупой концевой частью, что позволяет фиксировать ее в концевом трубчатом сегменте простым обжатием и при необходимости быстро осуществить замену.

Параметры рабочей части инструмента подбираются под диаметр микрочастиц, что способствует плотному их охвату тканями роговицы и более надежной их фиксации в ране. Длина инструмента варьируется в зависимости от заданной глубины внедрения микрочастицы. Необходимая глубина залегания микрочастицы в ране (0,1; 0,2; 0,3 мм) определяется исходя из требований эксперимента, после чего на заданном расстоянии от острия рабочей части инструмента наносится риска. Далее под контролем микроскопа производится вкол рабочей части инструмента в роговицу до уровня риски, что обеспечивает одинаковую глубину раны для всей серии.

#### **Микрохирургический инжектор для введения микрочастиц в микроскопическую рану на дозированной глубине**

Сложность введения микрочастиц в сформированную микрорану заключается в том, что она сразу закрывается, как только МИ удаляется из тканей. При этом рана даже под микроскопом становится едва видна. Поэтому для решения данной проблемы потребовался инструмент, который позволил бы быстро ввести микрочастицу в только что сформированную микроскопическую рану. Указанным требованиям отвечает разработанный и изготовленный нами Микро-

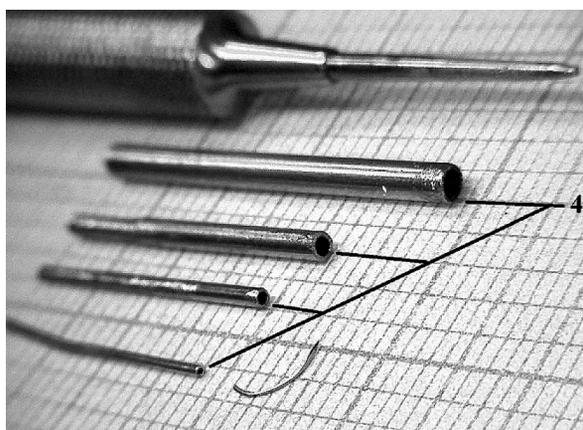
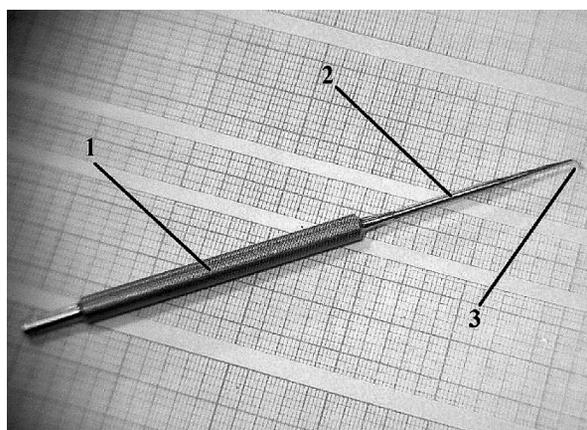


Рис. 2. Универсальный микрохирургический инструмент для формирования микрораны в роговице глаза экспериментального животного

хирургический инжектор для введения микрочастиц в микроскопическую рану на дозированную глубину (И), который защищен патентом на изобретение [4]. Он состоит из головки 1, тела 2 и толкателя 3 с ручкой 4 (рис. 3).

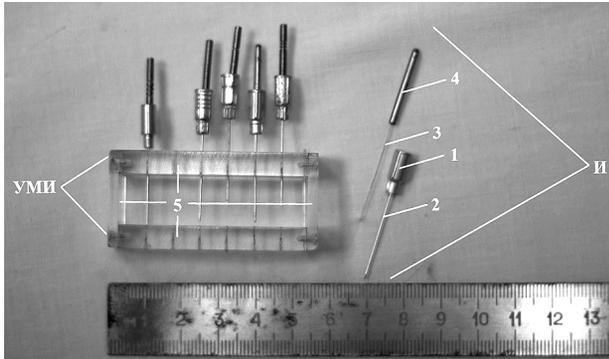


Рис. 3. Микрохирургический инжектор для введения микрочастиц в микроскопическую рану на дозированную глубину и Устройство для работы с микрохирургическими инжекторами

Внутренняя часть головки инжектора имеет цилиндрическую форму, куда вносятся микрочастицы необходимого размера. Ниже цилиндрическая форма головки переходит в конус, заканчивающийся в теле инжектора. Через конус микрочастица попадает к началу тела инжектора.

Тело инжектора представляет собой полую трубку, внутренний диаметр которой несколько больше диаметра микрочастицы и соответствует диаметру входного отверстия сформированной микроскопической раны. Оно предназначено для проведения микрочастицы и плотной фиксации концевой части инжектора в раневом канале. При этом создается сплошная трубка, по которой продвигается инородное тело. Для обеспечения плотной фиксации в ране роговицы концевая часть инжектора зашлифована на конус.

Для продвижения микрочастицы по сплошной трубке и ее введения на заданную глубину инжектор оснащен специальным толкателем, состоящим из ручки и тела. Ручка предназначена для удержания толкателя пальцами. Повторяя внутренние размеры и форму головки инжектора, она входит в последнюю, где надежно фиксируется. Тело толкателя имеет цилиндрическую форму, а его диаметр несколько меньше внутреннего диаметра тела инжектора. Выстояние кончика толкателя за пределы тела инжектора определяет глубину вхождения толкателя в микрорану. Это позволяет вводить микрочастицы в рану на дозированную глубину.

Микрочастица, захваченная И, помещается в головку инжектора, по которой подходит к началу тела инжектора. Толкателем микрочастица

смещается до половины тела инжектора, после чего он горизонтально подносится к ране и его рабочий кончик плотно прижимается к ней. Надавив на ручку толкателя, микрочастица вводится в рану.

### Устройство для работы с микрохирургическими инжекторами

Для удобства работы с И нами было разработано и изготовлено специальное Устройство для работы с микрохирургическими инжекторами (УМИ), защищенное патентом на изобретение [6].

УМИ представляет из себя вытянутый четырехугольник, состоящий из четырех пластин 5 (двух горизонтальных и соединяющих их с боков двух вертикальных) (см. рис. 3). В верхней горизонтальной пластине имеются вертикальные сквозные отверстия, диаметр которых точно соответствует наружному диаметру тел микрохирургических инжекторов. В эти отверстия вставляются микрохирургические инжекторы и плотно в них удерживаются. Строго по вертикали, соответственно верхним сквозным отверстиям, в нижней горизонтальной пластине находятся цилиндрические углубления, диаметр которых точно соответствует наружному диаметру тел микрохирургических инжекторов и обеспечивает вторую плотную фиксацию. На дне цилиндрических углублений строго по центру впрессованы металлические штыри, наружный диаметр которых строго соответствует внутреннему диаметру тел И. Металлические штыри входят в тело инжектора и жестко фиксируют микрочастицу снизу. Кроме того, они обеспечивают третью жесткую фиксацию инжекторов, предотвращая их смещение при различных положениях устройства.

На верхней горизонтальной пластине имеется цифровая маркировка функциональных возможностей инжекторов (величина микрочастиц и глубина введения их в микрорану).

Особенности конструкторской разработки определяют следующие технические возможности:

1. Вертикальное положение микрохирургического инжектора способствует быстрой и серийной зарядке его микрочастицами.
2. Наличие постоянной длины штыря в устройстве позволяет всегда на заданном уровне надежно фиксировать микрочастицу, зажимая ее в инжекторе между штырем и толкателем.
3. Жесткая фиксация микрохирургического инжектора и микрочастицы в нем позволяет перевести заряженное устройство в удобное для хирурга горизонтальное положение и горизонтально вынимать заряженный инжектор, предотвращая выпадение из него микрочастиц.

4. Устройство для работы с инжекторами позволяет серийно проводить их зарядку микро-частицами и серийно вводить в микрораны.
5. Цифровая маркировка функциональных возможностей инжекторов исключает ошибки в работе и позволяет быстро ввести микро-частицы другим идентичным инжектором, если первое введение не удалось.
- Микрохирургические инжекторы без толкателей через отверстия в верхней пластине вводятся в цилиндрические углубления нижней пластины и насаживаются на штыри. При помощи ИЗУДП микро-частица вносится в цилиндрическое отверстие головки, где она сама смещается в конусо-видный переход и толкателем инжектора продвигается до фиксирующего штыря. При внедрении микро-частиц в микрораны УМИ переводится из вертикального в горизонтальное положение, что позволяет горизонтально снять каждый заряженный инжектор, после чего горизонтально подвести его к микроране, предотвратив выпадение микро-частицы.
- Таким образом, запатентованные новые принципы конструкторских решений впервые позволили изготовить микрохирургический комплекс для введения микро-частиц в роговицу глаза экспериментальных животных. Применение данного комплекса в эксперименте позволило воспроизвести травму роговицы глаза инородными телами, что открывает широкие возможности ее клинического, гистологического и биохимического изучения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдовский И. В. Проблема причинности в медицине (этиология). М.: Медгиз, 1962. 176 с.
2. Зиновьев А. А., Ревзин И. И. Логическая модель как средство научного исследования // Вопросы философии. 1960. № 1. С. 82–90.
3. Инструмент для захвата, удержания и дозированного перемещения микро-частиц. Патент на изобретение № 2553569 от 20 июня 2015 г. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет». Автор патента: Мисюн Ф. А.
4. Микрохирургический инжектор для введения микро-частиц в микроскопическую рану на дозированную глубину. Патент на изобретение № 2553514 от 20.05.2015 г. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет». Автор патента: Мисюн Ф. А.
5. Универсальный микрохирургический инструмент для формирования микрораны в роговице глаза экспериментального животного. Заявка на изобретение № 2014132829 от 08.08.2014 г. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет». Авторы патента: Мисюн Ф. А., Гаврилюк И. О., Вапиров В. В.
6. Устройство для работы с микрохирургическими инжекторами. Патент на изобретение № 2553389 от 18.05.2015 г. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Петрозаводский государственный университет». Авторы патента: Мисюн Ф. А., Поромова И. Ю., Гаврилюк И. О., Мешков В. В.
7. Фролов И. Т. Гносеологические проблемы моделирования биологических систем // Вопросы философии. 1981. № 2. С. 39–51.
8. V a u m a n J r. W. C. Management of penetrating injuries with a retained intraocular foreign body // Ophthalmic care of the combat casualty. 1917. Vol. 41. № 2. P. 227.
9. Centers for Disease Control and Prevention et al. Rapid assessment of injuries among survivors of the terrorist attack on the World Trade Center-New York City, September 2001 // MMWR: Morbidity and mortality weekly report. 2002. Vol. 51. № 1. P. 1–5.
10. D u k e - E l d e r S., M a c F a u l P. A. War injuries // System of Ophthalmology. St. Louis, 1972. P. 49–56.
11. G w o n A. Animal Models in eye research. Panagiotis A. Tsouis (ed). Academic Press, 2008. P. 215.
12. H a d d e n W. A., R u t h e r f o r d W. H., M e r r e t t J. D. The injuries of terrorist bombing: A study of 1532 consecutive patients // Br. J. Surg. 1978. Vol. 65. P. 525–531.
13. J a n k o v i c S., Z u l j a n I., S a p u n a r D., B u c a A., P l e s t i n a - B o r j a n I. Clinical and radiological management of wartime eye and orbit injuries // Mil. Med. 1998. Vol. 163. P. 423–426.

**Misyun F. A.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Vapirov V. V.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Poromova I. Yu.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)  
**Gavrilyuk I. O.**, Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

## MISYUN'S MICROSURGICAL COMPLEX FOR REPRODUCTION AND RESEARCH OF CORNEAL METALLOSIS

### I. Microsurgical instruments for micro fragments' insertion into the cornea of experimental animals

Patented innovative principles of constructive decisions facilitated in the creation of special microsurgical complex instrumental in the insertion of micro particles into the cornea of experimental animals. The microsurgical complex consists of the device aimed at

manufacturing micro particles; an instrument for trapping, holding and dosed shifting of micro particles; a universal microsurgical instrument for forming micro-injuries in the cornea of experimental animals; a microsurgical injector for micro particles' insertion into the cornea incision at a predetermined depth; and devices to operate the injector. This complex was used in our experiments. The complex helped to reproduce corneal injuries caused by foreign bodies. The obtained results open up wide opportunities for clinical, histological and biochemical study of such injury.

Key words: cornea, foreign bodies, microsurgical instruments

#### REFERENCES

1. Davydovskiy I. V. *Problema prichinnosti v meditsine (etiologiya)* [The problem of causality in medicine (etiology)]. Moscow, Medgiz Publ., 1962. 176 p.
2. Zinov'ev A. A., Revzin I. I. The logic model as a means of scientific research [Logicheskaya model' kak sredstvo nauchnogo issledovaniya]. *Voprosy filosofii* [Problems of Philosophy]. 1960. № 1. P. 82–90.
3. *Instrument dlya zakhvata, uderzhaniya i dozirovannogo peremeshcheniya mikrochastits* [Instrument for trapping, holding and dosed shifting of microparticles]. Misyun F. A., Patent RF, № 2553569, 20.05.2015.
4. *Mikrokhirurgicheskiy inzhektor dlya vvedeniya v mikroskopicheskuyu ranu na dozirovannuyu glubinu* [Microsurgical injector for introducing the microparticles in a microscopic depth of the wound on dosage]. Misyun F. A., Patent RF, № 2553514, 20.05.2015.
5. *Universaln'yy mikrokhirurgicheskiy instrument dlya formirovaniya mikrorany v rogovitse glaza eksperimental'nogo zhivotnogo* [Universal microsurgical instruments for the formation of the cornea mikrorany in experimental animal]. Misyun F. A., Gavrilyuk I. O., Vapirov V. V. Patent RF, № 2014132829, 08.08.2014.
6. *Ustroystvo dlya raboty mikrokhirurgicheskimi inzhektorami* [A device for the use of microsurgical injectors]. Misyun F. A., Poromova I. Yu., Gavrilyuk I. O., Meshkov V. V. Patent RF, № 2553389, 18.05.2015.
7. Frolov I. T. Epistemological problems of modeling biological systems [Gnoseologicheskie problemy modelirovaniya biologicheskikh sistem]. *Voprosy filosofii* [Problems of Philosophy]. 1981. № 2. P. 39–51.
8. Bauman Jr. W. C. Management of penetrating injuries with a retained intraocular foreign body // *Ophthalmic care of the combat casualty*. 1917. Vol. 41. № 2. P. 227.
9. Centers for Disease Control and Prevention et al. Rapid assessment of injuries among survivors of the terrorist attack on the World Trade Center-New York City, September 2001 // *MMWR: Morbidity and mortality weekly report*. 2002. Vol. 51. № 1. P. 1–5.
10. Duke-Elder S., MacFaul P. A. War injuries // *System of Ophthalmology*. St. Louis, 1972. P. 49–56.
11. Gwon A. Animal Models in eye research. Panagiotis A. Tsouis (ed). Academic Press, 2008. P. 215.
12. Hadden W. A., Rutherford W. H., Merrett J. D. The injuries of terrorist bombing: A study of 1532 consecutive patients // *Br. J. Surg.* 1978. Vol. 65. P. 525–531.
13. Jankovic S., Zuljan I., Sapunar D., Buca A., Plestina-Borjan I. Clinical and radiological management of wartime eye and orbit injuries // *Mil. Med.* 1998. Vol. 163. P. 423–426.

Поступила в редакцию 26.10.2015

**РИММА ЕВГЕНЬЕВНА ЗАВГОРОДНЯЯ**кандидат биологических наук, доцент кафедры общей химии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)  
zavgrimma@petrsu.ru

## МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ НЕКОТОРЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ КАРЕЛИИ РАЗНЫХ СРОКОВ ОСВОЕНИЯ

Изучено содержание меди, молибдена, марганца, цинка и кобальта в торфяных почвах Карелии в разные сроки их освоения. В целом с учетом содержания объемной массы торфа эти почвы характеризуются невысоким содержанием подвижных форм микроэлементов, что необходимо учитывать при их использовании в сельском хозяйстве региона.

Ключевые слова: микроэлементы, почва, медь, молибден, марганец, цинк, кобальт

В сельскохозяйственном производстве Карелии используются мелиоративные земли, площади которых в разное время составляли до 75 тыс. га. С осушенных земель республика получает корма для животных, урожай картофеля и практически весь урожай овощей. Почвенно-климатические условия республики не препятствуют расширению и интенсификации земледелия. Поэтому проблема повышения и сохранения плодородия мелиоративных земель остается актуальной.

Известно, что биологическая роль некоторых микроэлементов столь незаменима, что их дефицит может приводить к необратимым последствиям для живых организмов [1], [2], [6]. Основным источником макро- и микроэлементов для растений является почва, которая подпитывается осадками и грунтовыми водами. Недостаток многих питательных веществ, отсутствующих в почвах, компенсируют внесением удобрений [4]. Результаты научных исследований, подкрепленные в целом рядом случаев производственной практикой передовых хозяйств, показывают, что эффективное использование удобрений и микроудобрений, в частности, становится возможно лишь при изучении содержания основных элементов питания в почвах, породах и водах. К тому же одними из определяющих факторов использования удобрений являются знания различной избирательной способности растений накапливать микроэлементы, а также отзывчивость возделываемых культур на внесение удобрений, содержащих эти элементы [5].

Целью настоящего исследования было изучение влияния длительного освоения мелиорируемых торфяных низинных почв на их состав, свойства и изменение в процессе окультуривания.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Стационарные исследования и отбор почвенных образцов производились в Корзинской низине, которая расположена в южной мелиоративной зоне Карелии.

При отборе почвенных образцов учитывали: продолжительность освоения, вносимые удобрения, окультуренность торфяных почв в целом. Целинные и освоенные почвы находились в пределах одного болотного массива, были близки по зольному и ботаническому составу. Почвенные образцы отбирали на неосушенном торфянике, осушенном неосвоенном торфянике, а также на торфяниках, которые подвергались длительному окультуриванию.

Исследования проводились на следующих объектах:

I. Разрез 6. Целинное болото. Почва торфяная, низинная, ожелезненная. Мощность торфяной залежи 320 см.

II. Разрез 1. Почва торфяная, низинная, ожелезненная, под многолетними травами, удобрения не вносились с момента осушения болота. Мощность торфяной залежи 320 см.

III. Разрез 2. Торфяно-перегнойная, низинная ожелезненная, длительно окультуриваемая почва. Мощность торфяной залежи 215 см. Под многолетними травами с момента осушения. Регулярно вносились известь и минеральные удобрения.

IV. Разрез 3. Торфяно-перегнойная, низинная, сильно ожелезненная, длительно окультуриваемая почва. Мощность торфяной залежи 225 см. Под многолетними травами с момента осушения. Известь и минеральные удобрения вносились регулярно.

Образцы торфа отбирались через 10 см, а в верхних горизонтах иногда и через 5 см.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые почвы были представлены среднезольными (5–15 %) осоково-древесными, преимущественно хорошо разложившимися (30–40 %) торфами атмосферно-намывного водного питания.

Пахотный слой исследуемых почв характеризовался повышенной кислотностью (рН в КС1 3,0–4,8), невысоким содержанием подвижного калия (1–12 мг/100 см<sup>3</sup>), фосфора (2–6 мг/см<sup>3</sup>) и сравнительно повышенным содержанием валового азота (2–3 %).

В результате биологической аккумуляции наиболее обогащен зольными элементами слой толщиной 5–10 см (14,25 %). Глубже наблюдается резкое снижение объемной массы торфа, зольности и содержания ряда элементов. В зольном составе почвенных образцов преобладает железо, затем идут кальций, кремний, магний и алюминий.

Длительное окультуривание торфяных почв после осушения приводит к существенным изменениям в их составе. В пахотном горизонте наблюдается увеличение следующих показателей: объемной массы, зольности, рН, содержания ряда зольных элементов. В то же время снижается количество подвижного калия и азота.

Почвы разреза 3 отличаются сильным ожелезнением, что объясняется более высоким стоянием уровня грунтовых вод. Грунтовые воды исследуемого массива отличаются высоким содержанием железа. В почвенном профиле встречаются зоны, имеющие буро-красный цвет. В пахотном слое в составе золы преобладают железо, кремний, алюминий. Вероятно, они также поступают с грунтовыми водами.

Важнейшей характеристикой почв, помимо ее физико-химических характеристик и содержания макроэлементов, является ее микроэлементный состав. Среди микроэлементов нами были изучены медь, молибден, марганец, цинк и кобальт. Выбор данных микроэлементов был обусловлен тем, что они входят в состав многих ферментов, определяющих ключевые процессы метаболизма растений.

**Медь.** Среднее содержание меди в подавляющем большинстве почв РФ и ближнего зарубежья, согласно данным А. П. Виноградова [3], составляет 20 мг/кг, причем большая часть ее находится в труднодоступном для растений состоянии. Подвижная или усвояемая растениями медь составляет лишь небольшую часть валовых запасов. Так, в почвах подзолистой зоны, характеризующейся наименьшим содержанием меди,

количество ее подвижной формы составляет всего 0,2–6,0 мг/кг.

Согласно данным [5], валовое содержание меди в большинстве почв Карелии ниже и составляет 8–12 мг/кг. Подвижная медь колеблется в пределах 0,15–5,50 мг/кг.

Как показали наши исследования, содержание валовой меди в пахотном горизонте (0–30 см) составляет 1,0–10,4 мг/кг, то есть является низким. Особенно бедна медью целинная почва (разрез 6) – 1,0–6,3 мг/кг. Она характеризуется более кислой средой (рН ~ 3,3), высоким содержанием кремния, сравнительно низкой зольностью. Наиболее высоким содержанием меди отличаются окультуренные почвы разреза 2 (3,0–10,4 мг/кг). Для них характерны более высокие значения зольности и рН среды, содержание железа, алюминия, но меньшее содержание кремния. Сильно ожелезненная торфяная почва разреза 3 также содержит низкое количество валовой меди (1,8–4,2 мг/кг).

Верхние горизонты целинной почвы, напротив, содержат больше подвижной меди (до 0,8 мг/кг), чем окультуренные почвы разрезов 1, 2, 3 (следы – до 0,5 мг/кг). Вероятно, это связано со значениями рН среды, содержанием в почвах зольных элементов (Fe, Al, Ca, Mg) и накоплением органического вещества – гумуса.

Вступая в обменные реакции с органическим веществом, медь замещает водородные ионы карбоксильных групп и частично фенольных гидроксильных почвенных перегнойных кислот. Поглощенная органическим веществом, медь трудно вымывается из почвы. Этим в известной мере объясняется накопление ее в гумусовом горизонте почв. При минерализации органического вещества почв микроорганизмами медь освобождается в виде растворимых солей, но при этом вновь поглощается органическими или минеральными коллоидами почв, имеющими отрицательный заряд. Так, например, оксид железа (III) или оксид алюминия, приобретающие в почвенном растворе отрицательный заряд, энергично поглощают катион меди (II) и другие микроэлементы, вследствие чего катионы металлов накапливаются в горизонтах, содержащих большое количество алюминия и марганца, то есть характеризующихся повышенной зольностью. Такие соединения микроэлементов, в том числе меди, становятся недоступными для питания растений.

В целом исследуемые почвы по существующей градации относятся к слабо обеспеченным подвижной медью, а ожелезненные почвы (разрез 2 и 3) – к бедным, требующим удобрений, содержащих медь.

**Молибден.** Содержание валового молибдена в 1 кг почв Карелии находится в пределах 0,4–8,8 мг, но большинство карельских почв содержит его меньше – от 0,8 до 1,2 мг/кг [1]. Содержание подвижных форм молибдена, переходящих в оксалатную вытяжку, в почвах Карелии составляет 0,02–0,90 мг/кг. Преобладающая часть почв содержит очень небольшие количества подвижного молибдена – 0,03–0,10 мг/кг и отнесена к группе бедных почв. В торфяных почвах низинных болот молибден более подвижен, чем в других почвах, и около 20 % валовых запасов переходит в оксалатную вытяжку.

В пахотном горизонте целинных почв (разрез 6) валовый молибден спектральным методом не обнаружен, однако содержание подвижных форм его было довольно высоким (до 0,4 мг/кг), что позволяет отнести почву к средне- и хорошо обеспеченной.

В окультуренных почвах (разрезы 1, 2, 3) валовый молибден обнаружен в больших количествах, значительно превышающих его содержание в большинстве карельских почв. Особенно выделяется пахотный горизонт сильно ожелезненной почвы (разрез 3), где обнаружено до 12,8 мг/кг валового молибдена.

Большие количества подвижного молибдена обнаружены в слабоокультуренных почвах разреза 1 (0,80–0,94 мг/кг). По содержанию подвижного молибдена ожелезненные почвы (разрезы 2 и 3) практически не отличаются от целины, то есть относятся к средне- и хорошо обеспеченным.

**Марганец.** По сравнению с другими микроэлементами содержится в почвах в значительно больших количествах. Среднее содержание марганца в почвах России составляет 900 мг/кг, а в почвах Карелии колеблется в пределах 75–3500 мг/кг [1]. Марганец может находиться в почвах в окисленной форме:  $MnO$ ,  $MnO_2$ . Динамика различных форм марганца в почве связана с окислительно-восстановительными процессами. Установлено, что с увеличением кислотности почвы подвижность марганца увеличивается, и в этих условиях наибольшее количество марганца в виде катионов  $Mn^{+2}$ . Эти водорастворимые соединения марганца хорошо доступны растениям. На очень кислых почвах может оказаться избыток двухвалентного марганца, который вреден для растений. Известкование почвы переводит марганец в неподвижные формы, трудно усваиваемые растениями, и таким образом устраняет избыток этого элемента.

Содержание подвижного марганца в 1 кг почв Карелии варьирует в очень широких пределах –

от 2,5 до 200,0 мг, причем большинство почв хорошо обеспечены подвижным марганцем.

По нашим данным, наибольшим содержанием как валового, так и подвижного марганца характеризовались самые верхние слои пахотного горизонта всех четырех групп исследуемых почв, причем марганец находится в основном в подвижном, то есть доступном для растений, состоянии.

**Кобальт.** Содержание кобальта в большинстве почв Карелии низкое (1–5 мг/кг) [1]. Это объясняется тем, что территория Карелии сложена в основном легкими по механическому составу отложениями – продуктами разрушения кислых горных пород. Содержание подвижного кобальта в килограмме почвы Карелии колеблется в пределах 0,06–1,50 мг/кг, причем для большинства карельских почв характерно крайне низкое содержание подвижного кобальта (0,06–0,5 мг/кг). В пахотном горизонте исследуемых нами низинных торфяных почв с разной степенью окультуренности и ожелезненности обнаружены небольшие количества подвижного кобальта (0,20–0,58 мг/кг), особенно в почве целины (0,12 мг/кг), что позволяет отнести эти почвы к бедным подвижным кобальтом. Валовый кобальт в наших образцах почв не определялся.

**Цинк.** По содержанию валового цинка почвы Карелии обнаруживают значительные различия (4–104 мг/кг). Но в целом ее территория характеризуется невысоким валовым содержанием этого элемента (50 мг/кг). По содержанию подвижного цинка большинство почв Карелии относится к средне- и хорошо обеспеченным (1,05–3,00 мг/кг). Карельские исследователи отмечают большие количества подвижного цинка (20–40 мг/кг) в болотных низинных и переходных почвах, к которым относятся и анализируемые нами почвы. Однако в этих почвах количество подвижного цинка намного ниже (до 2,5 мг/кг), особенно в ожелезненных почвах (0,75–2,11 мг/кг). Валовый цинк в исследуемых нами почвах не определялся, а содержание подвижного цинка составляет 0,85–2,5 мг/кг, что позволяет отнести эти почвы к слабообеспеченным по данному элементу.

В целом торфяные почвы Корзинской низины, с учетом объемной массы торфа, характеризуются невысоким содержанием подвижных форм микроэлементов, необходимых для выращивания полноценных урожаев сельскохозяйственной продукции, и требуют дополнительных исследований применения удобрений, содержащих эти элементы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородулина Г. С., Вапиров В. В., Венскович А. А. Селен в подземных водах Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 6 (151). С. 10–14.
2. Вапиров В. В., Шубина М. Э., Шубин И. В., Венскович А. А. Селен: актуальные медицинские, эпидемиологические и экологические проблемы Республики Карелия // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2012. № 6 (127). С. 40–43.
3. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
4. Ефимов В. Н., Сергеева Т. Н., Величко Е. В. Влияние длительного применения удобрений на содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой глинистой почве // Агрохимия. 2001. № 10. С. 68–72.
5. Микроэлементы в Карелии. Л.: Наука, 1973. 284 с.
6. Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Оникс 21 век, 2004. 216 с.

---

Zavgorodnyaya R. E., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

**MICROELEMENT COMPOSITION RESEARCH OF KARELIAN PEAT SOILS AT DIFFERENT STAGES OF UTILIZATION**

The content of copper, molybdenum, manganese, zinc and cobalt in Karelian peat soils at different stages of their development is studied. Overall, considering the content of the peat volume weight, the soils are characterized by the low content of mobile forms of trace elements. This fact has to be considered in case the soils are used for agricultural purposes of the region.

Key words: trace elements, soil, copper, molybdenum, manganese, zinc, cobalt

## REFERENCES

1. Borodulina G. S., Vapirov V. V., Venskovich A. A. Selenium in the groundwater of Karelia [Selen v podzemnykh vodakh Karelii]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2015. № 6 (151). P. 10–14.
2. Vapirov V. V., Shubina M. E., Shubin I. V., Venskovich A. A. Selenium: actual medical, epidemiological and ecological problems of the Republic of Karelia [Selen: aktual'nye meditsinskie, epidemiologicheskie i ekologicheskie problemy Respubliki Kareliya]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2012. № 6 (127). P. 40–43.
3. Vinogradov A. P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils]. Moscow, AN SSSR Publ., 1957. 238 p.
4. Efimov V. N., Sergeeva T. N., Velichko E. V. The influence of long application of fertilizers on the content of heavy metals in sod-podzol loamy sand soil [Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya udobreniy na sodержaniye tyazhelykh metallov v derno-podzolistoy glinistoy pochve]. *Agrokimiya* [Agrochemistry]. 2001. № 10. P. 68–72.
5. *Mikroelementy v Karelii* [Trace elements in Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1973. 284 p.
6. Skal'nuy A. V. *Khimicheskie elementy v fiziologii i ekologii cheloveka* [Chemical elements in physiology and human ecology]. Moscow, Oniks 21 vek Publ., 2004. 216 p.

Поступила в редакцию 08.12.2015

**АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА КРЫЖКО**

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Российская Федерация)  
*solanum@ukr.net*

**ЛЮДМИЛА НИКОЛАЕВНА КУЗНЕЦОВА**

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Российская Федерация)  
*kuz\_lydmila@mail.ru*

**ВЛИЯНИЕ БИОИНСЕКТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ *BACILLUS THURINGIENSIS*  
НА КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ**

Исследовали влияние экспериментальных партий инсектицидов на основе энтомопатогенных штаммов *Bacillus thuringiensis* (ВТ) 994, 0371 и 787 на урожай картофеля сорта Явор, на содержание крахмала и размер крахмальных зерен, а также содержание растворимого сахара и белка в клубнях картофеля. Эффект ВТ на исследуемые показатели изучали в сравнении с химическим инсектицидом Калипсо. Биопрепараты и химический инсектицид применяли как средства защиты растений картофеля против колорадского жука. Экспериментальные партии препаратов разработаны на основе штаммов бактерий из коллекции бактериальных энтомопатогенов ГБУ РК НИИСХ Крыма. Штаммы ВТ 994 и ВТ 0371 продуцируют белковый  $\delta$ -эндотоксин и термостабильный  $\beta$ -экзотоксин, штамм ВТ 787 – только белковый  $\delta$ -эндотоксин. Действующим веществом Калипсо является неоникотиноид тиаклоприд. В качестве контроля служили растения картофеля, обработанные водой. Установлено, что биоинсектициды ВТ 0371, ВТ 994 и ВТ 787, внесенные в агробиоценоз картофеля сорта Явор, способствуют повышению урожая клубней на 92,9; 96,3 и 104,3 % соответственно, в то время как химический инсектицид Калипсо – на 60,0 %. Результатом внесения биоинсектицидов на растения, по сравнению с Калипсо, является и получение экологически безопасной продукции с минимальным негативным влиянием на содержание крахмала (снижение не более чем на 2,2 %), сахара (увеличение не более чем на 1,46 % на сухое вещество) и белка (увеличение в среднем на 42,9 %), а также на размер крахмальных зерен в клубнях. Таким образом, применение биоинсектицидов на основе штаммов энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* 994, 0371 и 787 в биоценозе картофеля, в отличие от химического инсектицида Калипсо, позволяет получать экологически безопасную продукцию картофелеводства с минимальным негативным воздействием на содержание крахмала, сахара и белка в клубнях.

Ключевые слова: биоинсектициды, *Bacillus thuringiensis*, картофель, урожай, качество клубней

**ВВЕДЕНИЕ**

Картофель традиционно является одним из основных продуктов питания, поэтому технологии его выращивания должны быть направлены, прежде всего, на получение экологически безопасной продукции. Качество клубней зависит от целого ряда показателей, среди которых значительное место занимают углеводы. С содержанием и преобразованием углеводов связаны вкус, консистенция, устойчивость овощей при хранении и при переработке [10], [12]. Крахмал, являющийся основным запасным углеводом, находится в клубнях в виде крахмальных зерен, размеры которых являются сортовым признаком растений. Однако, как и размер зерен, содержание крахмала не является постоянным признаком, а меняется в зависимости от климата, почвы, условий выра-

щивания картофеля, величины и степени созревания клубней [8], [13].

Известно также, что устойчивость клубней при хранении, а также качество свежеприготовленных из них продуктов определяются исходным содержанием сахара в клубнях. Одной из причин этого является процесс взаимодействия между восстанавливающими сахарами и аминокислотами, происходящий в тканях клубней. В результате образуются темноокрашенные продукты – меланоидины, которые вызывают не только потемнение продукта, но и ухудшение всех его свойств (вкуса, способности развариваться и набухать, хруста, витаминной активности) [3], [7].

Целью наших исследований было определение влияния экспериментальных партий биопрепаратов на основе энтомопатогенных штаммов

*B. thuringiensis* (ВТ) 994, 0371 и 787 на урожай картофеля сорта Явор, на содержание крахмала и размер крахмальных зерен, а также содержание растворимого сахара и белка в клубнях картофеля. Эффект ВТ на исследуемые показатели изучали в сравнении с химическим инсектицидом Калипсо. Биопрепараты и химический инсектицид применяли как средства защиты растений картофеля от колорадского жука.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные партии препаратов разработаны на основе штаммов бактерий из коллекции бактериальных энтомопатогенов ГБУ РК НИИСХ Крыма. Штаммы ВТ 994 и ВТ 0371 продуцируют белковый  $\delta$ -эндотоксин и термостабильный  $\beta$ -экзотоксин, штамм ВТ 787 производит только белковый  $\delta$ -эндотоксин. Действующим веществом Калипсо является неоникотиноид тиаклоприд. Работа проводилась в течение 2011–2014 годов в условиях полевого опыта на базе ГБУ РК НИИСХ Крыма. В качестве контроля служили растения картофеля, обработанные водой.

Анализ клубней на содержание крахмала проводили после сбора урожая объемным бихроматным методом по Х. Н. Починоку (1976) [5]. Величину крахмальных зерен определяли методом Е. Г. Паушевой (1988) с использованием микроскопа, проблемно ориентированного программного обеспечения – морфометра Imade Pro Plus 4.5 и фотокамеры Canon [4]. Общее содержание растворимого сахара в клубнях исследовали фенольными соединениями по М. Dubois, К. F. Gilles (1980) [6]. Достоверность различий между опытными и контрольными вариантами оценивали по критерию Стьюдента.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Работами по изучению влияния биоинсектицидов на основе ВТ и химического инсектицида Калипсо на урожайность картофеля сорта Явор

установлено, что максимальное увеличение урожая клубней с прибавкой к контролю в среднем 100,8 ц/га (104,3 %) получали при обработке растений биопрепаратом на основе штамма ВТ 787 (таблица).

Незначительно меньше урожай (92,9 и 96,3 %) был получен с участков, обработанных соответственно ВТ 994 и ВТ 0371.

Под действием Калипсо прирост урожая клубней составил в среднем 58,3 ц/га (60,0 %), что можно объяснить влиянием химического инсектицида на физиологические процессы в организме растения картофеля, а именно снижением концентрации фотосинтетических пигментов в фазу бутонизации, когда происходит закладка клубней [2].

Биохимический анализ клубней показал, что обработка растений картофеля биоинсектицидами ВТ 994 и ВТ 787 не оказывает существенного влияния на содержание крахмала (снижение не более 2,2 %), в то время как обработка ВТ 0371 способствует его снижению на 4,5 %. При обработке растений Калипсо содержание крахмала в клубнях существенно не менялось (рис. 1).

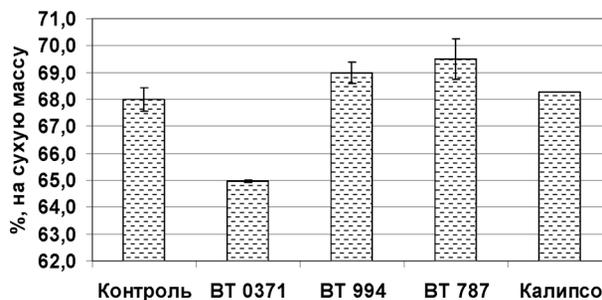


Рис. 1. Влияние биоинсектицидов ВТ 0371, ВТ 994, ВТ 787 и химического инсектицида Калипсо на содержание крахмала в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

Известно, что с размером крахмальных зерен связаны консистенция картофельного клубня и рассыпчатость после варки, которая высоко це-

Влияние биоинсектицидов на основе *Bacillus thuringiensis* на урожайность картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2011, 2013–2014 годы)

Варианты опыта	Урожай картофеля по годам, ц/га				Прирост к контролю		
	2011	2013	2014	Среднее	ц/га	%	
Контроль	108,1	86,9	94,8	96,6	–	–	
Биоинсектициды (штамм ВТ)	0371	149,3	207,1	202,9	186,4	89,8	92,9
	994	176,2	200,3	192,6	189,7	93,1	96,3
	787	189,6	165,6	237,0	197,4	100,8	104,3
Калипсо 480 SC, к. с.	149,6	144,7	170,4	154,9	58,3	60,0	
НСР <sub>05</sub>	11,5	22,4	53,1	–	–	–	

нится в картофеле. Чем меньше крахмальные зерна в клубнях картофеля, тем чаще наблюдается разрыв клеток, особенно если они меньше 20 мкм [7].

В ходе наших исследований установлено, что обработка растений картофеля ВТ 0371 и ВТ 787 не оказывает существенного влияния на размер крахмальных зерен. Применение ВТ 994 уменьшает большой и малый диаметр зерен на 9,6 и 16,4 % соответственно. Обработка растений Калипсо оказывает отрицательное воздействие, уменьшая размер крахмальных зерен на 33,6 и 31,4 % соответственно (рис. 2). Отмеченное уменьшение размера крахмальных зерен, особенно под действием химического инсектицида Калипсо, может свидетельствовать об ухудшении пищевых свойств клубней.

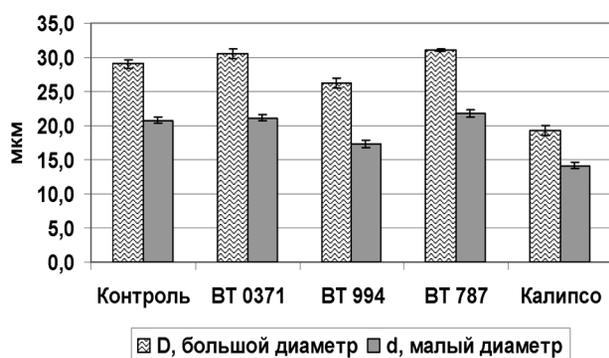


Рис. 2. Влияние биоинсектицидов ВТ 0371, ВТ 994, ВТ 787 и химического инсектицида Калипсо на размер крахмальных зерен в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

Количество и состав сахара в клубнях картофеля зависят от сорта, проявления реакции растения на стресс, обработки и условий выращивания [1], [11]. Известно, что для переработки наиболее пригодны сорта картофеля с низким содержанием сахара, а повышение содержания сахара негативно влияет на качество картофеля. Если сладкий вкус картофеля можно почувствовать, как только уровень сахара превысит 7–8 % на сухое вещество, то существенное ухудшение качества готовой продукции наступает уже при 5–6 % сахара [3].

Повышение содержания растворимых сахаров в клубнях в наших исследованиях наблюдали под действием ВТ 0371 и ВТ 994 на 34,4 и 63,2 % соответственно (рис. 3). Обработка картофеля ВТ 787, напротив, способствовала уменьшению содержания сахара на 13,2 %. Применение Калипсо не оказывало существенного влияния на исследуемый показатель.

Однако, поскольку полученные данные не свидетельствуют о превышении содержания сахара

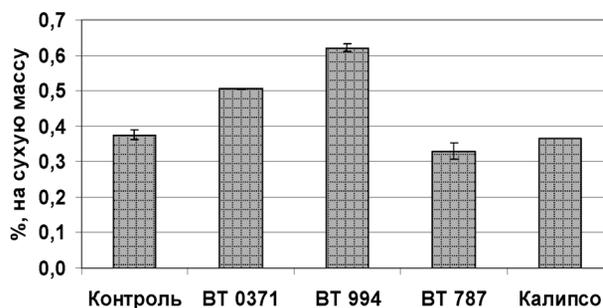


Рис. 3. Влияние биоинсектицидов ВТ 0371, ВТ 994, ВТ 787 и химического инсектицида Калипсо на содержание растворимого сахара в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

более чем 1,46 % на сухое вещество, можно констатировать, что обработки растений картофеля препаративными формами на основе штаммов *B. Thuringiensis*, как и химическим инсектицидом Калипсо, не вызывают существенного влияния на содержание растворимых сахаров в клубнях.

Растительный белок всегда играл существенную роль в пищевом рационе человека. Белок картофеля традиционно успешно используется как источник незаменимых для человека аминокислот, его употребление способствует увеличению сопротивляемости организма к заболеваниям, предупреждает задержку физического развития структур головного мозга у детей [9].

Анализ содержания белка в клубнях показал, что обработка картофеля препаративными формами на основе исследуемых штаммов способствует увеличению количества белка во всех вариантах опыта (рис. 4). Максимальное увеличение отмечено в вариантах с обработкой растений ВТ 0371 (на 55,07 % к контролю). При обработке растений ВТ 994 и ВТ 787 содержание белка увеличивалось на 37,51 и 36,32 % соответственно. Обработка же растений картофеля Калипсо существенного влияния на накопление белка не оказывала.

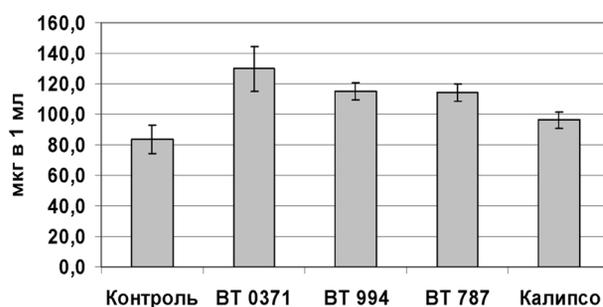


Рис. 4. Влияние биоинсектицидов ВТ 0371, ВТ 994, ВТ 787 и химического инсектицида Калипсо на содержание белка в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

Таким образом, применение биоинсектицидов на основе штаммов энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* 994, 0371 и 787 в биоценозе картофеля, в отличие от химического инсектицида

Калипсо, позволяет получать экологически безопасную продукцию картофелеводства с минимальным негативным воздействием на содержание крахмала, сахара и белка в клубнях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зейрук В. Н., Пшеченков К. А., Давыденкова О. Н., Мальцев С. В. Качество свежего столового картофеля и картофелепродуктов в зависимости от условий выращивания и хранения в Центральном регионе России // Картофелеводство России: актуальные проблемы науки и практики. М.: Рос. акад. с.-х. наук, 2007. С. 175–179.
2. Крижко А. В. Вплив штамів *Bacillus thuringiensis* на пігментний апарат листя картоплі // Агроекологічний журнал. 2009. № 2. С. 111–114.
3. Мегердичев Е. Я., Ключева О. А. Исследование зависимости технологических свойств картофеля от содержания углеводов [Производство замороженного полуфабриката картофеля «фри»] // Плодоовощные консервы – технология, оборудование, качество, безопасность: Материалы междунар. науч.-практ. конф. М.; Видное: Всерос. науч.-исслед. ин-т консерв. и овощесушил. пром-сти, 2004. Т. 1. С. 168–172.
4. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.
5. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наукова думка, 1976. 334 с.
6. Применение метода спектрофотометрии в почвоведении, мелиорации и сельском хозяйстве / Под ред. проф. Д. С. Орлова. М.; Новочеркасск, 1980. 73 с.
7. Савина О. В. Биохимия растениеводческой продукции. Рязань: Изд-во РГАУ, 2013. 208 с.
8. Турко С. А., Рубель М. И., Иванюк В. Г. Настольная книга картофелевода. Минск: РУП Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 2007. 74 с.
9. Chakraborty S., Chakraborty N., Agrawal L., Ghosh S., Narula K., Shekhar S. Next-generation protein-rich potato expressing the seed protein gene AmA1 is a result of proteome rebalancing in transgenic tuber // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2010. Vol. 107 (41). P. 17533–17538.
10. Grennan Aleel K. Regulation of Starch Metabolism in Arabidopsis Leaves // Plant Physiology. 2006. Vol. 142. №. 4. P. 1343–1345.
11. Ohara-Takada A., Matsuura-Endo C., Chuda Y., Ono H., Yada H., Yoshida M., Kobayashi A., Tsuda S., Takigawa S. Change in Content of Sugars and Free Amino Acids in Potato Tubers under Short-Term Storage at Low Temperature and the Effect on Acrylamide Level after Frying // Biosc. Biotechnol. Biochem. 2005. Vol. 69 (7). P. 1232–1238.
12. Ovando-Martinez M., Whitney K., Simsek S. Analysis of starch in food systems by high-performance size exclusion chromatography // J. Food Sci. 2013. № 78 (2). P. 192–198.
13. Sanchez T., Dufour D., Moreno I. X., Ceballos H. Comparison of pasting and gel stabilities of waxy and normal starches from potato, maize, and rice with those of a novel waxy cassava starch under thermal, chemical, and mechanical stress // J. Agric. Food Chem. 2010. № 58 (8). P. 5093–5099.

**Kryzhko A. V.**, Research Institute for Agriculture of Crimea  
(Simferopol, Russian Federation)

**Kuznetsova L. N.**, Research Institute for Agriculture of Crimea  
(Simferopol, Russian Federation)

#### THE INFLUENCE OF *BACILLUS THURINGIENSIS* BIOINSECTICIDES ON POTATO TUBERS' QUALITY

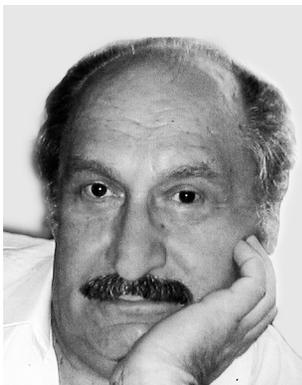
The research tested the effect of experimental batches of insecticides based on the entomopathogenic *Bacillus thuringiensis* (BT) 994, 0371 and 787 strains on the Javor potato crop, on the starch content and the size of the starch granules, on the soluble sugar content and the protein content in potato tubers. The BT effect on the analyzed parameters was studied comparatively with the chemical insecticide Calypso. Biopreparations and chemical insecticides were used as a tool protecting potato plants against the Colorado potato beetle. An experimental batch of preparations was elaborated on the basis of bacterial strains from entomopathogens' bacterial collection belonging to the state institution of the Republic Crimea "Research Institute for Agriculture of Crimea". The strains of BT 994 and BT 0371 produce the  $\delta$ -endotoxin protein and the thermostable  $\beta$ -exotoxin. But the strain BT 787 produces only  $\delta$ -endotoxin protein. The active ingredient of Calypso is a neonicotinoid thiacloprid. The treatment of potato plants with water was used as a method of control. It is well established that bioinsecticides BT 0371, BT 994 and BT 787, introduced in Javor potato agrobiocenosis, promoted the growth of tubers by 92,9; 96,3 and 104,3 %, respectively, while chemical insecticides Calypso – only by 60,0 %. Obtainment of the environmentally safe products with a minimum negative impact on the content of starch (reduction were not more than 2,2 %), sugar (increasing were not more than 1,46 % on a dry substance), and protein (an average increasing on a 42,9 %), as well as on the size of the starch grains in the tubers was a result of the bioinsecticides application in the plants. Thus, the use of bioinsecticides based on the entomopathogenic bacteria *B. thuringiensis* 994, 0371 and 787 strains in potato biocenosis, unlike the use of chemical insecticide Calypso, produces environmentally safe potato with a minimum negative impact on the content of starch, protein and sugar in tubers.

Key words: bioinsecticides, *Bacillus thuringiensis*, potato, crop, tubers quality

## REFERENCES

1. Zeyruk V. N., Pshechenkov K. A., Davydenkova O. N., Mal'tsev S. V. The quality of fresh table potatoes and potato products, depending on growing conditions and storage in the Central region of Russia [Kachestvo svezhego stolovogo kartofelya i kartofeleproduktov v zavisimosti ot usloviy vyrashchivaniya i khraneniya v Tsentral'nom regione Rossii]. *Kartofelevodstvo Rossii: aktual'nye problemy nauki i praktiki* [Potato Russia: actual problems of science and practice]. Moscow, Ross. arad. s.-kh. nauk Publ., 2007. P. 175–179.
2. Крижко А. В. Вплив штамів *Bacillus thuringiensis* на пігментний апарат листя картоплі // Агроекологічний журнал. 2009. № 2. С. 111–114.
3. Megerdichev E. Ya., Klyueva O. A. The dependence of the technological properties of potato carbohydrate content [Production of semi-frozen potato “fries”] [Issledovanie zavisimosti tekhnologicheskikh svoystv kartofelya ot sodержaniya uglevodov [Proizvodstvo zamorozhennogo polufabrikata kartofelya “fri”]. *Plodoovoshchnye konservy – tekhnologiya, oborudovanie, kachestvo, bezopasnost': Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Fruit and vegetable preserves – technology, equipment, quality, safety: Proceedings Intern. scientific and practical]. Moscow: Vidnoe, 2004. Vol. 1. P. 168–172.
4. Pausheva Z. P. *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Workshop on plant cytology]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988. 271 p.
5. Pochinok Kh. N. *Metody biokhimitskogo analiza rasteniy* [Methods of biochemical analysis of plants]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1976. 334 p.
6. *Primenenie metoda spektrofotometrii v pochvovedenii, melioratsii i sel'skom khozyaystve* [Application of spectrophotometry in soil science, irrigation and agriculture]. Moscow: Novocherkassk, 1980. 73 p.
7. Savina O. V. *Biokhimiya rasteniyevodcheskoy produktsii* [Biochemistry of crop production]. Ryazan, RGATU Publ., 2013. 208 p.
8. Turko S. A., Rubel' M. I., Ivanyuk V. G. *Nastol'naya kniga kartofelevoda* [Potato Handbook]. Minsk, 2007. 74 p.
9. Chakraborty S., Chakraborty N., Agrawal L., Ghosh S., Narula K., Shekhar S. Next-generation protein-rich potato expressing the seed protein gene AmA1 is a result of proteome rebalancing in transgenic tuber // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2010. Vol. 107 (41). P. 17533–17538.
10. Grennan Aleel K. Regulation of Starch Metabolism in Arabidopsis Leaves // *Plant Physiology*. 2006. Vol. 142. №. 4. P. 1343–1345.
11. Ohara-Takada A., Matsuura-Endo C., Chuda Y., Ono H., Yada H., Yoshida M., Kobayashi A., Tsuda S., Takigawa S. Change in Content of Sugars and Free Amino Acids in Potato Tubers under Short-Term Storage at Low Temperature and the Effect on Acrylamide Level after Frying // *Biosc. Biotechnol. Biochem.* 2005. Vol. 69 (7). P. 1232–1238.
12. Ovando-Martinez M., Whitney K., Simsek S. Analysis of starch in food systems by high-performance size exclusion chromatography // *J. Food Sci.* 2013. № 78 (2). P. 192–198.
13. Sanchez T., Dufour D., Moreno I. X., Ceballos H. Comparison of pasting and gel stabilities of waxy and normal starches from potato, maize, and rice with those of a novel waxy cassava starch under thermal, chemical, and mechanical stress // *J. Agric. Food Chem.* 2010. № 58 (8). P. 5093–5099.

Поступила в редакцию 15.06.2015



15 ноября 2015 года исполнилось 80 лет доктору биологических наук, члену-корреспонденту РАН, профессору, заведующему кафедрой зоологии и экологии, декану эколого-биологического факультета ПетрГУ, заместителю главного редактора нашего журнала *Эрнесту Викторовичу Ивантеру*.

## ЭРНЕСТ ВИКТОРОВИЧ ИВАНТЕР

### К 80-летию со дня рождения

Э. В. Ивантер родился в Москве. Закончив сельхозакадемию им. К. А. Тимирязева, в 1958 году приехал в Карелию. С 1965 года работает в Петрозаводском университете, в 1985 году становится заведующим кафедрой зоологии и экологии, а в 1987 году – деканом биологического (с 1999 года эколого-биологического) факультета.

Научные интересы Эрнеста Викторовича связаны с популяционной экологией животных. Он основатель одной из ведущих отечественных научных школ экологов-популяционистов. Им сформулирована концепция комплексной популяционной авторегуляции, ставшая теоретической основой для долгосрочного прогнозирования и контроля численности хозяйственно важных видов животных, разработана концепция структурно-популяционных адаптаций, имеющих приоритетное значение при закреплении популяций в экстремальных условиях таежного Севера. Под его руководством ведутся исследования по проблемам популяционного гомеостаза и адаптации организма, изучаются экологические и морфофизиологические механизмы приспособления млекопитающих к существованию у северных границ своих ареалов, исследуются экологическая структура и закономерности динамики популяций. Большую известность получило разработанное Э. В. Ивантером теоретическое обоснование эволюционной специфики периферических популяций с двумя принципиально различающимися путями экологической стратегии видов с высокой и низкой индивидуальной резистентностью.

Э. В. Ивантер – первый член-корреспондент РАН в Карелии (1991). Под его руководством защищено 42 кандидатских и 6 докторских диссертаций. Он автор более 400 научных публикаций. Является вице-президентом Российского териологического общества, почетным членом Финского общества териологов, экологического общества Польши, зоологического общества США и членом Нью-Йоркской академии наук. Входит в редколлегии «Зоологического журнала», журнала «Экология». Он стоял у истоков возрождения нашего научного журнала.

Награжден орденом Почета, золотой медалью Н. И. Вавилова, знаком «Почетный работник высшего профессионального образования РФ», Почетной грамотой Президента России, является заслуженным деятелем науки РФ и РК.

**От всей души поздравляем Эрнеста Викторовича с юбилеем, желаем крепкого здоровья, воплощения в жизнь всех задуманных желаний и процветания родного факультета!**

## ХРОНИКА

### ■ В 2015 году исполняется 75 лет эколого-биологическому факультету Петрозаводского государственного университета.

1940 год: в составе Карело-Финского государственного университета, как тогда назывался Петрозаводский государственный университет, был и биологический факультет с планом приема 120 человек. На факультете были организованы следующие кафедры: химии (зав. кафедрой доцент П. А. Лупанов), зоологии беспозвоночных (зав. кафедрой профессор С. В. Герд), зоологии позвоночных (зав. кафедрой доцент М. Я. Марвин), генетики и дарвинизма (зав. кафедрой доцент Э. Д. Маневич), ботаники (зав. кафедрой профессор Е. С. Степанов), физиологии растений (зав. кафедрой профессор А. Я. Кокин), физиологии животных и человека (зав. кафедрой профессор В. В. Правдич-Неминский). Когда началась Великая Отечественная война, университет был эвакуирован в г. Сыктывкар, но обучение студентов не прекращалось. В этот период биологи успешно изучали ресурсы Коми АССР.

1944 год: университет возвратился в Петрозаводск, началось возрождение факультета.

1951 год: биологический факультет был объединен с физико-математическим, новый факультет стал называться естественно-математическим.

1954 год: биологическое отделение вошло в состав нового – сельскохозяйственного – факультета и на 4 года был прекращен прием по специальности «биология».

1967 год: биологический факультет был восстановлен.

1998 год: факультет становится эколого-биологическим, так как открывается новая специальность – экология.

Деканами в разные годы были:

- с 1940 – Элеонора Давыдовна Маневич, биологический факультет;
- с 1942 – Михаил Яковлевич Марвин, биологический факультет;
- с 1945 – Матвей Александрович Тойкка, биологический факультет;
- с 1951 – Адам Адамович Райкерус, естественно-математический факультет;

- с 1954 – Серафим Михайлович Крашенинников, сельскохозяйственный факультет;
- с 1967 – Мария Петровна Миронова, биологический факультет;
- с 1970 – Людмила Дмитриевна Музалева, биологический факультет;
- с 1987 – Эрнест Викторович Ивантер, эколого-биологический факультет.

На факультете работали такие выдающиеся ученые, как профессор В. В. Правдич-Неминский, Г. В. Попов, Б. А. Тихомиров, И. Ф. Правдин и др.

Сегодня факультет представлен следующими кафедрами:

- ботаники и физиологии растений (зав. кафедрой профессор Е. Ф. Марковская),
- зоологии и экологии (зав. кафедрой член-корреспондент РАН, профессор Э. В. Ивантер),
- молекулярной биологии, биологической и органической химии (зав. кафедрой член-корреспондент РАН, профессор Н. Н. Немова),
- общей химии (зав. кафедрой профессор В. В. Вапиров),
- биологии и методики обучения (зав. кафедрой член-корреспондент РАН, профессор А. Ф. Титов).

Кафедра молекулярной биологии, биологической и органической химии и кафедра ботаники награждены дипломом и знаком «Золотая кафедра России» за заслуги в области развития отечественного образования.

При факультете функционируют Кончезерская биологическая станция, Шелтозерская биологическая станция, Ботанический сад, Гербарий, Лаборатория экологических проблем севера, Лаборатория функциональной экологии, Лаборатория экспериментальной ботаники. Среди штатных преподавателей факультета – 13 докторов наук, профессоров, 35 – кандидатов наук, доцентов. На факультете работают 3 члена-корреспондента Российской Академии наук.

Эколого-биологический факультет осуществляет подготовку по направлениям академического и прикладного бакалавриата, магист-

ратуры, аспирантуры. Студенты-бакалавры за период обучения в соответствии с требованиями образовательных стандартов получают знания по гуманитарным наукам (истории, иностранному языку, психологии и педагогике, экономике и др.), естественнонаучным дисциплинам (математике, физике, химии, геологии, почвоведению и др.), специальным биологическим и экологическим дисциплинам (ботанике, зоологии, экологии, биохимии, молекулярной биологии, географии, физиологии растений, физиологии человека и животных, экологической физиологии, микробиологии, почвоведению, биогеографии, охране природы и другим). Практические навыки работы в лабораториях студенты осваивают в ходе практикумов по ботанике, зоологии, химии, биохимии и др. Обязательной частью учебного процесса являются летние учебные практики, которые проходят на базе Ботанического сада и биостанций. Студенты имеют возможность проходить обучение в зарубежных университетах (Финляндия, Норвегия) по международным программам ПетрГУ.

Выпускники-бакалавры после окончания университета могут продолжить обучение в магистратуре, а выпускники-магистры – в аспирантуре.

При факультете работает Диссертационный совет Д 212.190.01 (по биологическим наукам), научные специальности: 03.02.04 – Зоология, 03.02.06 – Ихтиология, 03.02.08 – Экология (биология). Председатель – член-корреспондент РАН, доктор наук, профессор Э. В. Ивантер. В состав совета входят 23 доктора наук, профессора, из которых 15 – выпускники факультета. Количество защит: докторских – более 50 и кандидатских диссертаций – более 150.

На факультете работают два научных электронных журнала, входящие в международные

базы данных и с 1 декабря этого года вошедшие в новый Перечень ВАК:

- «Принципы экологии», главным редактором которого является доктор биологических наук профессор А. В. Коросов;
- «Hortus Botanicus», главный редактор – доктор биологических наук А. А. Прохоров.

Также в новый Перечень ВАК вошел научный (печатный) журнал «Ученые записки Петрозаводского государственного университета» по отрасли «Биологические науки», специальности: «Общая биология» и «Физико-химическая биология», заместителем главного редактора является Э. В. Ивантер.

Научная деятельность эколого-биологического факультета разнообразна и многогранна. Она сосредоточена на вопросах изучения флоры и фауны Европейского Севера, оценки состояния наземных и водных экосистем и прогноза развития окружающей среды в условиях антропогенного воздействия, изучении механизмов адаптации организмов к экстремальным факторам. Факультет имеет широкие связи с российскими и зарубежными вузами и научно-исследовательскими учреждениями, преподаватели и сотрудники принимают активное участие в выполнении совместных проектов и грантов.

Факультет гордится своими выпускниками, многие из которых ведут активную научную, производственную, образовательную деятельность.

*Е. Ф. Марковская  
доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники  
эколого-биологического факультета,  
Петрозаводский государственный университет  
botanika@petsu.ru*

## УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

**Научный журнал «Ученые записки Петрозаводского государственного университета» с 1 декабря 2015 года включен в новый Перечень ВАК по отрасли «БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ», специальности: «Общая биология» и «Физико-химическая биология»**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) (Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-37987 выдано 02 ноября 2009 г.).

Журнал зарегистрирован в РИНЦ с 2008 года, информация об опубликованных научных статьях предоставляется в течение недели после даты выхода очередного номера. Журнал зарегистрирован в Международном центре ISSN 1998-1643 (Print). Сведения о журнале публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory» и в базе данных ВИНТИ РАН. Архив журнала передается в ОАО «Агентство “Книга-Сервис”» и размещается на базовом интернет-ресурсе [www.rucont.ru](http://www.rucont.ru), а также в «Университетской библиотеке онлайн» (<http://biblioclub.ru>).

Журнал бесплатно рассылается более чем в 30 российских вузов и за рубежом: в Национальную библиотеку Конгресса США, в библиотеки университетов Финляндии, Западно-Саксонского университета прикладных наук в Цвиккау (Германия), Института исследований Восточной и Юго-Восточной Европы (Регенсбург, Германия), Тартуский университет (Эстония), Харьковский университет (Украина) и Белорусский ГУ (Минск).

Периодичность выхода – 4 раза в год.

Все публикуемые научные статьи имеют аннотацию и ключевые слова как на русском, так и на английском языке, библиографические списки и References, оформленные в соответствии с правилами журнала. Требования к оформлению статей смотрите на сайте: [uchzap.petrstu.ru](http://uchzap.petrstu.ru)

Статьи принимаются в течение года. Публикация статей бесплатная. Все рукописи после регистрации проходят этап обязательного конфиденциального рецензирования.

Доставка обязательных экземпляров журнала в Российскую книжную палату и Книжную палату Республики Карелия осуществляется с 2008 года.

В 2009 году заключен договор с ОАО Агентство «Роспечать» на подписку по каталогу «Издавания органов научно-технической информации», подписной индекс – 66093.

Приглашаем к сотрудничеству преподавателей, докторантов, аспирантов, магистрантов и студентов ПетрГУ, а также других вузов и научных учреждений Карелии, России и зарубежных стран. Мы будем рады разместить ваши материалы на страницах журнала!

## CONTENTS

## GENERAL BIOLOGY

- Nemova N. N., Meshcheryakova O. V., Churova M. V.*  
ENERGY METABOLISM INDICATORS FOR SALMONIDAE GROWTH AND DEVELOPMENT ASSESSMENT ..... 7
- Ivanter E. V., Kurkkinen Yu. P.*  
INTENSIVE FOREST CUTTING INFLUENCE ON SMALL MAMMALS' POPULATION IN EASTERN FENNOSCANDIA ..... 14
- Bolgov A. E.*  
BIOLOGICAL, SELECTIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS OF INNOVATIONS' USAGE IN DAIRY CATTLE BREEDING ..... 30
- Kotova Z. P., Evseeva G. V., Smirnov S. N., Evstratova L. P., Rogov A. A., Klyukina E. A.*  
PRODUCTIVE LONGEVITY ANALYSIS OF PERENNIAL GRASS MIXTURES GROWING IN KARELIA ..... 35
- Matrosova S. V., I'mast N. V., Khuobonen M. E., Bombina M. S.*  
EFFICIENCY OF RAINBOW TROUT CULTIVATION IN CAGE FARM CONDITIONS .... 42
- Shklyarevich G. A., Moiseeva E. A.*  
ANTHROPOGENIC INFLUENCE OF THE FRESH WATER CONTROLLED DISCHARGE FROM THE WHITE SEA HYDROPOWER-STATIONS ON SHALLOW-WATER INVERTEBRATES ..... 46
- El'kina N. A., Karpova E. E.*  
PALINO-INDICATION METHOD IN THE ESTIMATION OF THE WHITE SEA MARINE PLANTS' ADAPTIVE ABILITY ..... 52
- Ignatenko R. V., Tarasova V. N.*  
POPULATION OF THREATENED LICHEN *LOBARIA PULMONARIA* (L.) HOFFM. IN FOREST COMMUNITIES OF SOUTH KARELIA AT DIFFERENT LEVELS OF ANTHROPOGENIC LOAD. .... 57
- Mamontova O. V.*  
CHARACTERISTIC FEATURES OF LADOGA LAKE CHAR (*SALVELINUS ALPINES* L.) PARASITOFUNA ..... 65
- Sungurova N. R., Khudyakov V. V.*  
ASSIMILATORY APPARATUS OF PINE CULTURES ..... 68
- Urbanavichene I. N., Urbanavichus G. P.*  
ADDITIONS TO LICHEN FLORA OF MORDOVSKII RESERVE, REPUBLIC OF MORDOVIA, AND MIDDLE RUSSIA ..... 75

- Chukina N. V., Kutlunina N. A., Shaikhova D. R., Sharnina T. F., Sitnikov I. A. Kiseleva I. S.*  
EXPRESS ESTIMATION OF VEGETATIVE AND REPRODUCTIVE ORGANS IN HERBACEOUS PLANTS FROM ENVIRONS OF KARABASH COPPER SMELTER ..... 80

## PHYSICO-CHEMICAL BIOLOGY

- Blazhevich L. E., Kirilina V. M., Kiver E. N., Krivchenko A. I.*  
EPITHELIAL PROSTAGLANDINS' ROLE IN RATS' SMOOTH MUSCLE CONTRACTION OF TRACHEA AND BRONCHI ..... 87
- Gavrilova O. I., Grafova E. O., Gol'denberg P. G.*  
PHITO-BIOLOGICAL TESTING IN IMPACT ASSESSMENT FROM SEWAGE OUTLETS OF SUBURBAN SITES ..... 92
- Zhukova O. V., Obukhova E. S., Khizhkin E. A., Tyndyk M. L., Vinogradova I. A.*  
RATS' OVULATORY FUNCTION UNDER MELATONIN RECEPTORS' BLOCKADE ..... 98
- Misyun F. A., Vapirov V. V., Poromova I. Yu., Gavrilyuk I. O.*  
MISYUN'S MICROSURGICAL COMPLEX FOR REPRODUCTION AND RESEARCH OF CORNEAL METALLOSIS. I. MICROSURGICAL INSTRUMENTS FOR MICROFRAGMENTS' INSERTION INTO THE CORNEA OF EXPERIMENTAL ANIMALS ..... 105
- Zavgorodnyaya R. E.*  
MICROELEMENT COMPOSITION RESEARCH OF KARELIAN PEAT SOILS AT DIFFERENT STAGES OF UTILIZATION ..... 111
- Kryzhko A. V., Kuznetsova L. N.*  
THE INFLUENCE OF *BACILLUS THURINGIENSIS* BIOINSECTICIDES ON POTATO TUBERS' QUALITY ..... 115
- Jubilation**  
To the 85th birthday anniversary of E. V. Ivanter ..... 120
- Scientific information** ..... 121
- Info for the authors** ..... 123