
Министерство образования и науки
Российской Федерации

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

№ 8 (161). Декабрь, 2016

Биологические науки

Главный редактор

А. В. Воронин, доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

С. Г. Веригин, доктор исторических наук, профессор

Э. В. Ивантер, доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

В. С. Сюнёв, доктор технических наук, профессор

Ответственный секретарь журнала

Н. В. Ровенко, кандидат филологических наук

Перепечатка материалов, опубликованных
в журнале, без разрешения редакции запрещена.

Статьи журнала рецензируются

Адрес редакции журнала

185910, Республика Карелия,

г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33.

Тел. (8142) 76-97-11

E-mail: uchzap@mail.ru

uchzap.petrSU.ru

Редакционный совет

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

Редакционная коллегия

- | | |
|--|--|
| А. Е. БОЛГОВ
доктор сельскохозяйственных наук, профессор
(Петрозаводск) | А. Ю. МЕЙГАЛ
доктор медицинских наук, профессор
(Петрозаводск) |
| Г. Г. БОРИСОВА
доктор географических наук, профессор
(Екатеринбург) | Н. Н. НЕМОВА
доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН (Петрозаводск) |
| В. В. ВАПИРОВ
доктор химических наук, профессор
(Петрозаводск) | Е. И. РАТЬКОВА
кандидат технических наук,
ответственный секретарь серии
(Петрозаводск) |
| Н. В. ВАСИЛЕВСКАЯ
доктор биологических наук, профессор
(Мурманск) | А. А. РОГОВ
доктор технических наук, профессор
(Петрозаводск) |
| Т. О. ВОЛКОВА
доктор биологических наук (Петрозаводск) | Г. Б. СТЕФАНОВИЧ
доктор физико-математических наук,
профессор (Петрозаводск) |
| Е. Ф. МАРКОВСКАЯ
доктор биологических наук, профессор
(Петрозаводск) | В. В. ЩИПЦОВ
доктор геолого-минералогических наук,
профессор (Петрозаводск) |
| С. П. МАСЛОВА
доктор биологических наук (Сыктывкар) | |

Ministry of Education and Science
of the Russian Federation

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

№ 8 (161). December, 2016

Biological Sciences

Chief Editor

Anatoly V. Voronin, Doctor of Technical Sciences, Professor

Chief Deputy Editor

Sergey G. Verigin, Doctor of Historical Sciences, Professor

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

Vladimir S. Syunev, Doctor of Technical Sciences, Professor

Executive Secretary

Nadezhda V. Rovenko, Candidate of Philological Sciences

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

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

uchzap.petrSU.ru

Editorial Council

- 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

- A. BOLGOV**
Doctor of Agricultural Sciences, Professor
(Petrozavodsk)
- G. BORISOVA**
Doctor of Geographical Sciences, Professor
(Ekaterinburg)
- V. VAPIROV**
Doctor of Chemistry, Professor
(Petrozavodsk)
- N. VASILEVSKAYA**
Doctor of Biological Sciences, Professor
(Murmansk)
- T. VOLKOVA**
Doctor of Biological Sciences (Petrozavodsk)
- E. MARKOVSKAYA**
Doctor of Biological Sciences, Professor
(Petrozavodsk)
- S. MASLOVA**
Doctor of Biological Sciences (Syktyvkar)
- 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. SHCHIPTSOV**
Doctor of Geological-Mineralogical Sciences,
Professor (Petrozavodsk)

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

- Василевская Н. В., Морозова Д. А.
Тератоморфизм пыльцы *Syringa josikaea* Jacq. при интродукции на урбанизированных территориях Российской Арктики 7
- Варламова Т. В., Доршакова Н. В., Каранетян Т. А.
Вирусы как кофакторы процесса нарушений аутоиммунной толерантности 14
- Веселкин Д. В., Марковская Е. Ф., Бетехтина А. А., Сони́на А. В., Сергиенко Л. А.
Микоризообразование у сосудистых растений береговой зоны западного побережья Белого моря 20
- Глазырина М. А., Лукина Н. В., Чукина Н. В., Борисова Г. Г., Огорокова Е. С.
Potentilla bifurca L. на золоотвалах Урала в разных зонально-климатических условиях 27
- Евстратов И. В., Евстратова Л. П.
Отбор перспективных морфотипов в карельской популяции *Phleum pratense* L. сорта Олонецкая местная 36
- Ермолаева О. В., Шмакова Н. Ю.
Рост и накопление массы *Hylocomium splendens* в лесном поясе Хибин 40
- Лесонен М. А., Шустов Ю. А., Онищенко Н. А., Онищенко И. Н., Сухов А. В.
Особенности питания речного окуня (*Perca fluviatilis*) в озерных и речных условиях Карелии 46
- Мучник Е. Э.
Дополнения к лишенобиоте Московского региона 52
- Сидорова Н. А., Кравцова А. Д., Сергиенко Л. А., Марковская Е. Ф.
Микробиоценозы приморских сообществ западного побережья Белого моря 58

- Кутявина Т. И., Олькова А. С.
Проблемы эксплуатации и экологического состояния Омутнинского водохранилища Кировской области 66
- Мискевич И. П., Петрова В. В.
Состояние популяции клеща таежного *Ixodes persulcatus* в пределах г. Череповца 75
- Павловский Е. В., Пауков А. Г.
Виды рода *Phacus* (Euglenophyceae) в водоемах окрестностей г. Екатеринбурга 79
- Ситников И. А., Шаихова Д. Р., Чукина Н. В., Киселева И. С.
Влияние аэротехногенного загрязнения на фотосинтетический аппарат растений *Scorzonera glabra* Rupr. 84
- Шайхутдинова А. А., Ивлева Я. С.
Городские зеленые насаждения как элемент системы экологического каркаса 91
- Сергеева Т. И., Барсова А. В.
Рыбохозяйственное значение корюшки (*Osmerus eperlanus* (L.)) Онежского озера в современных условиях 97
- Смыр А. А., Гагарина Л. В.
Редкие виды рода *Usnea* Dill. ex Adans Ричинского реликтового национального парка (Абхазия) 101

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ

- Букин В. И., Андреев В. П., Соболев П. С.
Комплексообразование палладия (II) с бромидом триоктилпропаргиламмония 105
- Теканова Е. В., Макарова Е. М.
Микробиологическая индикация загрязнения воды реки Нелукса (Карелия) 109
- Памяти А. С. Лантратовой 115
- Информация для авторов 116
- Contents 118

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.gucont.ru

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

Сведения о журнале и его архиве передаются в открытую научную электронную библиотеку «CYBERLENINKA» и размещаются по адресу: cyberleninka.ru

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

Учредитель: ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

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

Дата выхода в свет 26.12.2016. Формат 60×90^{1/8}. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 100 экз.). Изд. № 264

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

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ВАСИЛЕВСКАЯ

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

ДАРЬЯ АНАТОЛЬЕВНА МОРОЗОВА

аспирант кафедры естественных наук факультета естествознания, физической культуры и безопасности жизнедеятельности, Мурманский арктический государственный университет (Мурманск, Российская Федерация)
darya-morozova-89@inbox.ru

ТЕРАТОМОРФИЗМ ПЫЛЬЦЫ *SYRINGA JOSIKAEAE* JACQ. ПРИ ИНТРОДУКЦИИ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Представлены данные палинологического анализа пыльцы *Syringa josikaea* Jacq. в условиях арктического климата г. Мурманска. Показано, что на высокоширотной урбанизированной территории размеры пыльцы данного вида значительно меньше, чем в других регионах России и Европы. Выявлено 14 тератоморф пыльцевых зерен сирени венгерской. Уровень тератоморфизма варьирует от 7 до 31,3 % в 2014 году и от 8,5 до 36,1 % в 2015 году, что говорит о нарушениях микроспорогенеза и указывает на неблагоприятные экологические условия.

Ключевые слова: *Syringa josikaea* Jacq., палинология, тератоморфизм, Арктика

В настоящее время активно проводятся исследования репродуктивной биологии видов и сортов сиреней, интродуцированных в различных регионах мира [8], [9], [13], [17], [21], [22], [23], [24]. Широко изучаются фертильность пыльцы представителей рода *Syringa* L. [8], ее жизнеспособность [5], [15], [17], [20], показатели семенной продуктивности [14]. Особо актуальными становятся эколого-палинологические исследования, которые позволяют на основе нарушений в развитии пыльцевых зерен оценивать состояние окружающей среды [1]. Однако данные по морфологической изменчивости пыльцы видов рода *Syringa* L. в условиях урбанизированных территорий немногочисленны [6], [10], [11], [12].

Цель исследования – изучение палиноморфологических особенностей *Syringa josikaea* Jacq. (сирени венгерской) в условиях арктического города (на примере г. Мурманска).

Исследования проводились в г. Мурманске – самом большом в мире незамерзающем порту за Полярным кругом. Город расположен на берегу Кольского залива Баренцева моря (68°58' с. ш., 33°4' в. д.) и находится в Атлантико-Арктической зоне умеренного климата. Климат формируется близостью Баренцева моря, влияние которого усиливает теплое Северо-Атлантическое течение. В отличие от многих приполярных городов, в Мурманске наблюдаются высокие для севера зимние температуры воздуха. Средняя температура января – февраля: –10–11 °С, средняя температура июля +12–13 °С [3]. Среднегодовое количество осадков составляет 500 мм. Снеговой

покров держится в среднем 210 дней и полностью сходит к маю. Вегетационный период на широте Мурманска составляет 80–90 дней [4]. Полярная ночь длится со 2 декабря по 11 января, полярный день – с 22 мая по 22 июля. Круглосуточное освещение вызывает интенсивный рост ряда видов интродуцентов. Вегетационные сезоны 2014 и 2015 годов резко различались по температурному фактору. Среднемесячная температура июля в Мурманске, по многолетним данным, составляет 12,8 °С. В июле 2014 года она была выше – 13,6 °С, а в 2015 году – значительно ниже нормы – 9,9 °С.

Основными источниками загрязнения атмосферы города являются Мурманские котельные, Мурманский морской порт, завод по термической обработке твердых бытовых отходов, автотранспорт. Экологическая ситуация в последние годы стала резко ухудшаться за счет повышения объемов перевалки угля открытым способом и его дробления Мурманским портом, использования мазута низкого качества местными ТЭЦ, увеличения автотранспортной нагрузки. Специфическими загрязнителями являются сажа, формальдегид, летучие органические соединения, предельные углеводороды. В центре города наблюдается увеличение содержания суммы углеводородов в периоды неблагоприятных метеорологических условий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является *Syringa josikaea* Jacq. (сирень венгерская), представитель

рода *Syringa* L. семейства *Oleaceae* Hoffmngg & Link.

S. josikaea засухо- и морозоустойчива, ее экологическая пластичность определила успешную интродукцию в северных районах европейской части России [3]. Хорошо переносит городские условия, в посадках существует свыше 50 лет. Выносливость, декоративность, успешность размножения и простота выращивания ставят *S. josikaea* на одно из первых мест в ассортименте кустарников для озеленения Мурманской области [18]. В г. Мурманске *S. josikaea* составляет основу зеленых насаждений – 28 % [4].

Пыльцевые зерна *S. josikaea* трехбороздные, сфероидальные или эллипсоидальные; в очертании с полюса трехлопастные, с экватора – округлые или эллиптические. Скульптура сетчатая. Полярная ось 32,0–40,1 мкм, экваториальный диаметр 36,0–44,8 мкм. Борозды узкие, короткие. Экина двухслойная, 3,0–4,1 мкм толщиной [19].

Пробные площадки в посадках *S. josikaea* на территории г. Мурманска заложены в ноябре 2012 года. Они расположены в направлении с севера на юг и отличаются высотой над уровнем моря и климатическими условиями: ПП₁ – сквер у ТЦ «Мир», Ленинский АО; ПП₂ – сквер на ул. Ленинградской, Октябрьский АО; ПП₃ – остановка «Автопарк», Первомайский АО; ПП₄ – ост. «Шевченко», Первомайский АО; КП – контрольная площадка в поселке Сафоново. Все экспериментальные площадки заложены в районах с повышенной техногенной нагрузкой: ПП₁ – сквер у ТЦ «Мир» расположен недалеко от промышленной зоны; ПП₂ – сквер на ул. Ленинградской находится рядом с железной дорогой и в непосредственной близости с Мурманским морским портом, где происходит перевалка и дробление угля; ПП₃ – ост. «Автопарк», ПП₄ – ост. «Шевченко» расположены в зонах интенсивного движения автотранспорта. В качестве контрольной площадки выбран сквер около Музея военно-воздушных сил Северного флота в поселке Сафоново, в 19 км на север от г. Мурманска. Сквер расположен на берегу Кольского залива, вдали от автомобильных дорог и промышленных производств.

Сбор цветков *S. josikaea* с созревшей пылью осуществлялся в июле 2014 и 2015 годов в период массового цветения. С каждой пробной площадки было собрано по 50 цветков. В соответствии с рекомендациями О. Ф. Дзюба [6] цветки собирали с юго-западной стороны кроны с ветвей одного порядка. Весь собранный материал помещали в бумажные пакеты и хранили при комнатной температуре в сухом шкафу. Палинологические исследования проводились с помощью светового микроскопа «MicroLife» при увеличениях в 160 и 640 раз. Особенности строения пыльцы изучали ацетокарминовым методом [2]. В ходе исследования отмечены следующие особенности пыльцы: форма, скульптура, количество апертур и борозд,

симметричность, цвет. Аномальной считалась пыльца с нарушениями развития, имеющая хотя бы одно отличие от нормально развитых зерен. Величина пыльцевых зерен измерялась с помощью окулярмикрометра, определялись длина полярной оси и экваториального диаметра. Изучено по 500–900 пыльцевых зерен с каждой площадки. Микрофотографии пыльцы выполнены с помощью малоформатной цветной CCD-камеры, которую устанавливали на окулярную трубку.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения палинологического анализа выявлено, что для нормально развитой пыльцы *S. josikaea* характерно: эллипсоидальная, сфероидальная форма; скульптура зерен – сетчатая (иногда можно различить разновеликие борозды); количество апертур – 3; агрегатное состояние – в большей степени одиночное (монадное) или полиадное; при окрашивании ацетокармином приобретает малиновый, темно-малиновый цвет.

В протестированных пробах г. Мурманска пыльцевые зерна *S. josikaea* имеют значительно меньшие размеры, чем в других регионах России и Европы. Величина пыльцевых зерен *S. josikaea* на арктической урбанизированной территории составляет: полярная ось 30,1–31,7 мкм, экваториальный диаметр 27,2–28,2 мкм. По данным О. Ф. Дзюба [6], в Ленинградской области полярная ось пыльцевого зерна *S. josikaea* 37,09 мкм, экваториальный диаметр 34,66 мкм. В Восточной Европе размеры пыльцы сирени венгерской: полярная ось 32,0–40,1 мкм, экваториальный диаметр 36,0–44,8 мкм [19].

Во всех образцах выявлены как нормальные, так и тератоморфные пыльцевые зерна (рис. 1). Содержание нормально развитой пыльцы в г. Мурманске в 2014 году варьирует в диапазоне от 68,8 до 92,9 %, в 2015 году – от 63,9 до 91,5 % (см. рис. 1).

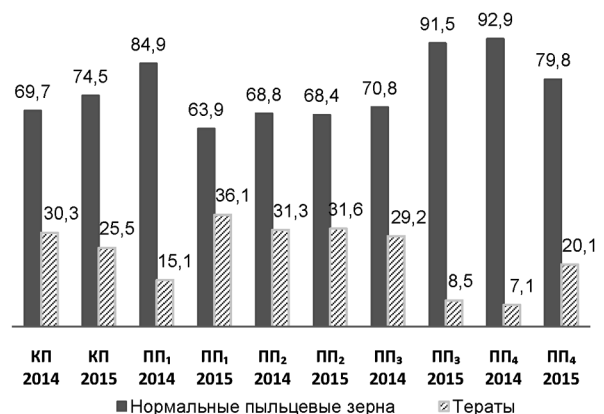


Рис. 1. Нормальные и тератоморфные пыльцевые зерна *Syringa josikaea* на территории г. Мурманска в 2014–2015 годах (в %).

КП – контрольная площадка в п. Сафоново; ПП₁ – район ТЦ «Мир»; ПП₂ – парк в районе ул. Ленинградской; ПП₃ – ост. «Автопарк»; ПП₄ – ост. «Шевченко»

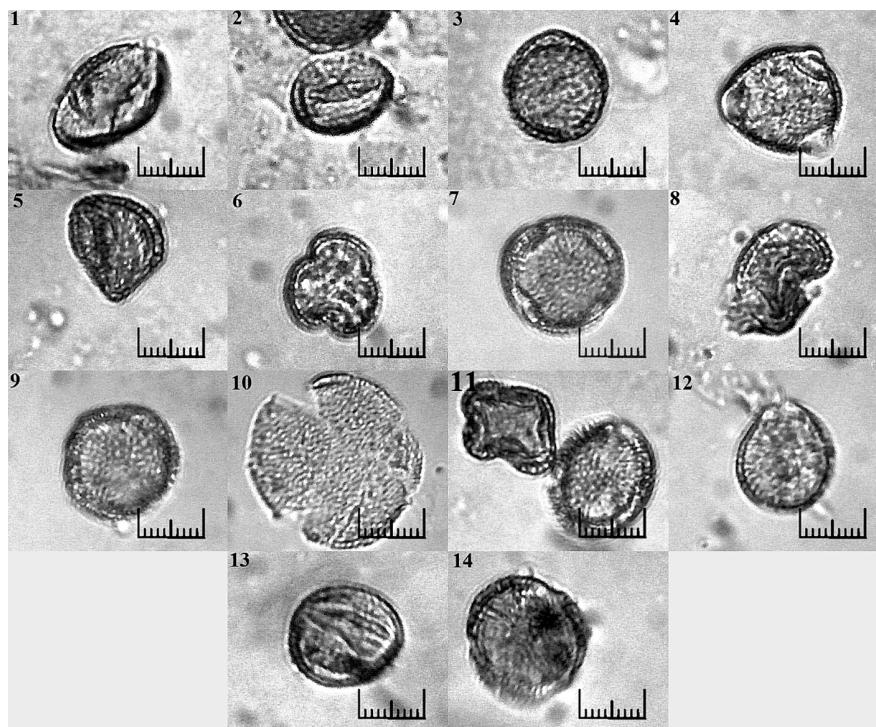


Рис. 2. Тератоморфы пыльцевых зерен *Syringa josikaea* на территории г. Мурманска

1 – безапертурное, округлой формы, с нарушениями оболочки (разрыв, скол), редуцированное содержимое; 2 – безапертурное, бобовидной или округлой формы, с 1 бороздой (щелью); 3 – безапертурное, округлой формы, симметричное, утолщенная оболочка; 4 – неокрашенное, нормально развитое зерно (без видимых нарушений); 5 – безапертурное, нарушена естественная форма пыльцевого зерна, несимметричное, с нарушениями оболочки, мелкие размеры; 6 – с гиперразвитыми апертурами (кол-во 3), пыльцевое зерно приобретает трехлопастную форму; 7 – четырехапертурное; 8 – безапертурное, бобовидной или вытянутой формы; 9 – пыльцевое зерно с двумя апертурами; 10 – безапертурное с патологически развитой оболочкой, гипертрофированных размеров; 11 – с гиперразвитыми апертурами (кол-во 4), пыльцевое зерно приобретает четырехлопастную форму; 12 – одноапертурное пыльцевое зерно, с нормально развитой оболочкой; 13 – безапертурное, бобовидной или округлой формы, с 2 бороздами – хорошо выраженный тетрадный рубец (в виде развернувшейся трехлучевой щели); 14 – неокрашенное, в целом нормально развитое пыльцевое зерно с небольшими сколами оболочки. Масштабная линия на микрофотографиях соответствует 17 мкм

Аномальные пыльцевые зерна *S. josikaea* отличаются от нормальных размерами, формой, количеством апертур, борозд, изменением оболочки. При палиноморфологическом анализе описано 14 тератоморф пыльцы (таблица, рис. 2).

Содержание тератоморфной пыльцы в пробах варьирует по площадкам города в диапазоне от 7,1 до 31,3 % в 2014 году и от 8,5 до 36,1 % в 2015 году (см. таблицу, рис. 1). Максимальное количество пыльцевых зерен с нарушениями развития в 2014 году выявлено у сирени венгерской на ул. Ленинградской (ПП₂) – 31,3 % и на остановке «Автопарк» (ПП₃) – 29,2 %. В 2015 году высокий уровень аномальной пыльцы обнаружен в пробах площадки ПП₁, в районе ТЦ «Мир», – 36,1 % и ПП₂ на улице Ленинградской – 31,6 %. При этом, если в 2014 году в г. Мурманске выявлено 5 тератоморф пыльцы *S. josikaea*, то в 2015 году, когда температуры воздуха в летний период были ниже климатической нормы, в два раза больше (см. таблицу). Число тератоморф в сквере около остановки «Автопарк» (ПП₃) в 2015 году составило 11, в районе ТЦ «Мир» (ПП₁), в сквере на ул. Ленинградской (ПП₂) – 10. В контроле палинотера-

ты представлены 7 морфологическими аномалиями развития в 2014 и 9 в 2015 году. Наибольшее количество и разнообразие тератоморф выявлено в пробах центральной части г. Мурманска (сквер на ул. Ленинградской (ПП₂)), где отмечается высокий уровень техногенного загрязнения в связи с близостью к Мурманскому морскому порту и железной дороге, и в северной части (район ТЦ «Мир» (ПП₁)), расположенной рядом с промышленной зоной.

На территории г. Мурманска в 2014 году часто встречается мелкая, безапертурная, с нарушенной естественной формой, несимметричная, с нарушениями экзины тератоморфа пыльцы *S. josikaea* (см. таблицу, рис. 2.5). Доля пыльцевых зерен с такими нарушениями развития достигает максимума в центре города (ПП₂) – в сквере на улице Ленинградской (23,2 %), южной части (ПП₃) – у остановки «Автопарк» (21,6 %) и в контроле (20,9 %). На всех площадках выявлены такие формы аномалий пыльцевых зерен, как безапертурные округлой формы, с нарушениями оболочки и редуцированным содержимым (см. таблицу, рис. 2.1); безапертурные округлой или

Тератоморфы пыльцевых зерен *Syringa josikaea* г. Мурманска (2014–2015 годы, в %)

№	Морфотипы пыльцевых зерен	КП 2014	КП 2015	ПП ₁ 2014	ПП ₁ 2015	ПП ₂ 2014	ПП ₂ 2015	ПП ₃ 2014	ПП ₃ 2015	ПП ₄ 2014	ПП ₄ 2015
1	Нормальные пыльцевые зерна	69,7	74,5	84,9	63,9	68,8	68,4	70,8	91,5	92,9	79,81
2	Тераты. Из них:	30,2	25,5	15,1	36,1	30,5	31,6	29,2	8,5	7,1	20,1
1	Безапертурное, округлой формы, с нарушениями оболочки (разрыв, скол), редуцированное содержимое	0	1,3	0	1,2	0	4,6	0	1,9	0	2,2
2	Безапертурное, бобовидной или округлой формы, с 1 бороздой (щелью)	0	0,5	0	11,1	3	3,2	3,7	1	0,2	2,5
3	Безапертурное, округлой формы, симметричное, утолщенная оболочка	0	16,3	0	4,2	0	11,7	0	2,1	0	7
4	Неокрашенное, нормально развитое зерно (без видимых нарушений)	7,3	3,2	4,3	7,7	2,9	6,9	3,7	0,9	2,6	2,4
5	Безапертурное, нарушена естественная форма пыльцевого зерна, несимметричное, с нарушениями оболочки	20,9	1,5	7,7	4,2	23,2	1,5	21,6	0,3	3,5	3,4
6	С гиперразвитыми аперттурами (кол-во 3), так что пыльцевое зерно приобретает сильно расчлененную трехлопастную форму	0,2	1,7	2,7	4,4	0	1,4	0	1,2	0,6	0,5
7	Четырехапертурное	0,2	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0	0
8	Безапертурное, бобовидной или вытянутой формы	0,8	0	0,2	0,2	1,3	0,2	0	0,3	0	0
9	П. з. с двумя аперттурами	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0
10	Безапертурное с патологически развитой оболочкой. Гипертрофированные размеры.	0,3	0	0,3	1	0,2	0,7	0	0	0	0
11	С сильно развитыми аперттурами (кол-во 3), так что п. з. приобретает четырехлопастную форму	0	0,5	0	0,2	0	0	0	0,3	0	0
12	Одноапертурное пыльцевое зерно	0	0,1	0	0	0	0	0	0,3	0	0
13	Безапертурное, бобовидной или округлой формы, с 2 бороздами – это хорошо выраженный тетрадный рубец (в виде развернутой трехлучевой щели)	0	0	0	2	0	1,4	0	0,2	0,2	0,5
14	Неокрашенное, в целом нормально развитое пыльцевое зерно с небольшими сколами оболочки	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0,2	0	1,6

Примечание. п. з. – пыльцевое зерно.

бобовидной формы с одной бороздой (рис. 2.2); безапертурные округлой формы, с утолщенной оболочкой (рис. 2.3). Часто в пробах содержатся пыльцевые зерна с тремя гипертрофированными развитыми аперттурами, при этом пыльцевое зерно приобретает трехлопастную форму (см. таблицу, рис. 2.6).

Наиболее редко встречаются следующие аномалии развития: одноапертурные пыльцевые зерна (рис. 2.12), с двумя (рис. 2.9) и четырьмя (рис. 2.7) аперттурами (см. таблицу).

В своих исследованиях О. Ф. Дзюба [6] выделяет 10 тератоморф пыльцевых зерен *S. josikaea* на территории г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Сопоставление результатов палинологических исследований *S. josikaea* г. Мурманска с данными О. Ф. Дзюба [6] по Санкт-Петербургу показало, что на арктической урбанизированной территории выявлено большее число морфологических нарушений в развитии пыльцевых зерен, чем в условиях умеренных широт. Из 14 тератоморф пыльцы, обнаруженных в пробах г. Мурманска, только 6 совпадают с аномалиями развития, выявленными в Санкт-Петербурге (см. рис. 2.5; 2.7; 2.9; 2.10; 2.12; 2.13). Из них в арктическом городе чаще встречаются: безапертурные с нарушениями формы пыльце-

вого зерна, несимметричные, с нарушениями оболочки и мелкими размерами (см. рис. 2.5); безапертурные, бобовидной или округлой формы, с 2 бороздами (см. рис. 2.13). При этом есть тератоморфа, которая выявлена только в пробах в северном (ПП₁) и центральном районах г. Мурманска (ПП₂), – безапертурные пыльцевые зерна с патологически развитой оболочкой, имеющие гипертрофированные размеры (см. рис. 2.10). Экваториальный диаметр такой гипертрофированной пыльцы составляет 39,1 мкм, полярная ось – 42,5 мкм.

Из тератоморф, описанных О. Ф. Дзюба [6] в Санкт-Петербурге, в условиях высокоширотной урбанизированной территории редко встречаются: четырехапертурные пыльцевые зерна (см. рис. 2.7); с двумя аперттурами (см. рис. 2.9); одноапертурные, с нормально развитой оболочкой (см. рис. 2.12).

В пробах пыльцы *S. josikaea* на территории г. Мурманска выявлены тератоморфы, не описанные у О. Ф. Дзюба [6]: безапертурные пыльцевые зерна округлой формы, с нарушениями оболочки (разрыв, скол) и редуцированным содержимым (см. рис. 2.1); безапертурные, бобовидной или округлой формы, с 1 бороздой (щелью) (см. рис. 2.2); безапертурные, округлой формы, симметричные

с утолщенной оболочкой (см. рис. 2.3); с гиперразвитыми апертурами (кол-во 3), так что пыльцевые зерна приобретают трехлопастную форму (см. рис. 2.6); безапертурные, бобовидной или вытянутой формы (см. рис. 2.8); с гиперразвитыми апертурами (кол-во 4), так что пыльцевое зерно приобретает четырехлопастную форму (см. рис. 2.11).

В пробах пыльцы *S. josikaea* всех экспериментальных площадок г. Мурманска выявлены безапертурные, бобовидной или округлой формы пыльцевые зерна с 2 бороздами – это хорошо выраженный тетрадный рубец (в виде развернутой трехлучевой щели) (рис. 2.13). Наибольшее количество таких пыльцевых зерен выявлено в пробах северной части города (ПП₁) – в сквере у ТЦ «Мир» (2 %) и в центре (ПП₂) – в сквере на улице Ленинградской (1,4 %). Похожие тератоморфы пыльцы *S. josikaea* описаны О. Ф. Дзюба в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области [6]. Аналогичные аномалии с рубцами, напоминающими раскрытые/сомкнутые щели трехлучевых спор, выявлены при спорово-пыльцевом анализе семейства вересковых (*Ericaceae* Juss) в поверхностных пробах Кумжинского газоконденсатного месторождения [7]. По мнению О. Ф. Дзюба и О. В. Кочубей [7], такие аномалии развития свидетельствуют о высоком уровне загрязнения среды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палинологический анализ *S. josikaea* г. Мурманска выявил высокую морфологическую

изменчивость пыльцы, что проявляется в образовании большого числа палинотератов. Естественный полиморфизм пыльцы *S. josikaea* [6] варьирует в пределах 1–10 %, в условиях ухудшающейся экологической обстановки эти показатели могут увеличиваться (до 100 %). В пробах г. Мурманска доля тератоморфной пыльцы колеблется от 7,1 до 31,3 % в 2014 году и от 8,5 до 36,1 % в 2015 году, что указывает на неблагоприятные экологические условия. При этом на территории арктического города выявлено 14 тератоморф пыльцы *S. josikaea*, из них 8 морфологических аномалий развития описаны впервые. Из полученных данных не очевидно, экстремальные для вида климатические условия или антропогенная нагрузка оказывают наибольшее влияние на морфологическую изменчивость пыльцы, поскольку в пробах контрольной площадки также выявлено высокое содержание палинотератов (до 30 %). Это позволяет предположить, что аномалии в развитии пыльцы *S. josikaea*, интродуцированной на высокоширотной урбанизированной территории, прежде всего вызваны воздействием факторов атлантико-арктического климата. По-видимому, низкие температуры вегетационного сезона в сочетании с антропогенным воздействием усиливают отклонения в развитии пыльцевых зерен в ходе микроспорогенеза *S. josikaea*. Массовое появление аномальной пыльцы является ответом на наиболее экстремальные климатические обстановки и техногенные воздействия и отражает неблагоприятное состояние репродуктивной сферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакташева Н. М., Сероглазова Н. Г. Индикация чистоты окружающей среды по состоянию пыльцы растений, произрастающих в дельте Волги // Вестник МГОУ. Сер. «Естественные науки». 2012. № 1. С. 65–68.
2. Барыкина Р. П., Веселова Т. Д., Девятков А. Г., Джалилова Х. Х., Ильина Г. М., Чубатова Н. В. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. М.: Изд-во МГУ, 2004. 312 с.
3. Гонтарь О. Б., Жиров В. К., Казаков Л. А., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. 292 с.
4. Гонтарь О. Б., Святковская Е. А., Тростенюк Н. Н., Коробейникова Н. М., Шлапак Е. П., Носатенко О. Ю. Мониторинг состояния древесных насаждений на некоторых объектах озеленения в центральной части города Мурманска // Известия Самарского НЦ РАН. 2013. Т. 15. № 3 (2). С. 621–625.
5. Горб В. К. Сирени на Украине. Киев: Наукова Думка, 1989. 160 с.
6. Дзюба О. Ф. Палиноиндикация качества окружающей среды. СПб.: Недра, 2006. 197 с.
7. Дзюба О. Ф., Кочубей О. В. Качество пыльцы растений как индикатор интенсивности воздействия нефтегазового комплекса на природную среду охраняемых территорий России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 4. С. 19–24.
8. Жакова С. Н. Репродуктивная биология некоторых видов и культиваров рода сирень *Syringa* L.: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2015. 23 с.
9. Жакова С. Н., Новоселова Л. В. Биология цветения сортов *Syringa vulgaris* L. // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16177> (дата обращения 06.12.2016).
10. Морозова Д. А., Василевская Н. В. Палинологические особенности *Syringa josikae* при интродукции на урбанизированных территориях в условиях высоких широт // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: Материалы VI Междунар. науч. конф. СПб., 2016. С. 345–348.
11. Морозова Д. А., Василевская Н. В. Динамика показателей палиноморфологического анализа *Syringa josikae* Jacq. в условиях техногенного загрязнения г. Мурманска // Экологические проблемы промышленных городов: Материалы 7-й Всероссийской научно-практ. конф. с междунар. участием. Саратов, 2015. С. 143–146.
12. Морозова Д. А., Василевская Н. В. Палиноморфологический анализ *Syringa josikaea* Jacq. в условиях арктического города (на примере г. Мурманска) // Современное состояние, тенденции развития, рациональное использование и сохранение биологического разнообразия растительного мира: Материалы Междунар. науч. конф. Минск, 2014. С. 223–226.

13. Полякова Н. В. Биологические особенности представителей рода *Syringa* L. при интродукции в Башкирском Предуралье: Дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2010. 188 с.
14. Полякова Н. В. Биология семян видов сирени в ботаническом саду г. Уфы // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2011. № 3 (98). Вып. 14/1. С. 56–60.
15. Полякова Н. В. Жизнеспособность пыльцы видов рода *Syringa* L. при интродукции // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2009. № 8. С. 235–238.
16. Полякова Н. В. Сезонный ритм развития видов рода *Syringa* L. в г. Уфа // Вестник ИрГЦХА. 2011. Вып. 44. Ч. 2. С. 120–125.
17. Пшеничкова Л. М. Сирени, культивируемые в Ботаническом саду-институте ДВО РАН. Владивосток, 2007. 113 с.
18. Святковская Е. А., Гонтарь О. Б., Тростенюк Н. Н., Костина В. А. Видовое разнообразие и состояние древесных интродуцентов в разных типах озелененных территорий г. Апатиты // Вестник МГТУ. 2009. Т. 12. № 3. С. 539–544.
19. Токарев П. И. Палинология древесных растений, произрастающих на территории России: Дис. ... д-ра биол. наук. М., 2004. 498 с.
20. Шаренкова Е. А. Биология цветения, опыления и цитозембриологическое исследование некоторых видов сирени в условиях Прибайкалья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1969. 19 с.
21. Dadpour M., Naghilo S., Peighambaroust S., Panahirad S., Aliakbari M., Movafeghi A. Comparison of floral ontogeny in wild – type and double flowered phenotypes of *Syringa vulgaris* L. (Oleaceae) // Scientia Horticulturae. 2011. Vol. 127 (4). P. 535–541.
22. Jedrzejuk A. Ultrastructure of Pollen Grains from Forced and Unforced Shrubs of Common Lilac // Journal of Plant Growth Regulation. 2005. Vol. 24 (2). P. 83–92.
23. Jedrzejuk A., Lukaszewska A. High temperatures applied at fall forcing disturb ovule development in *Syringa vulgaris* L. “Mme Florent Stepman” // Acta Physiologiae Plantarum. 2008. Vol. 30. Issue 5. P. 673–678.
24. Naghilo S., Dadpour M., Gohari G., Endress P. Comparative study of inflorescence development of *Oleaceae* // Amer. J. of Botany. 2013. Vol. 100 (4). P. 647–663.

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

Morozova D. A., Murmansk Arctic State University (Murmansk, Russian Federation)

POLLEN TERATOMORPHISM OF *SYRINGA JOSIKAEA* JACQ. IN URBAN AREAS OF THE RUSSIAN ARCTIC

Research results of the palynological analysis of *Syringa josikaea* Jacq. pollen in conditions of the arctic climate of Murmansk city are presented. The size of pollen grains found on the densely populated territory is much lower than in other regions of Russia and Europe. 14 types of teratomorph of *S. josikaea* pollen grains were revealed. According to our research the level of teratomorphism varied from 7 to 31,3 % in 2014 and from 8,5 to 36,1 % in 2015. These indicators speak of the presence of generative processes in microsporogenesis and point to the adverse environmental conditions.

Key words: *Syringa josikaea* Jacq., palynology, teratomorphism, Arctic

REFERENCES

1. Baktasheva N. M., Seroglazova N. G. Indication of the environmental cleanliness according to the condition of plants' pollen found in Volga delta [Indikatsiya chistoty okruzhayushchey sredy po sostoyaniyu pyl'tsy rasteniy, proizrastayushchikh v del'te Volgi]. *Vestnik MGOU. Ser. Estestvennyye nauki*. 2012. № 1. P. 65–68.
2. Barykina R. P., Veselova T. D., Devyatov A. G., Dzhaliilova Kh. Kh., Il'ina G. M., Chubatova N. V. *Spravochnik po botanicheskoy mikrotekhnike. Osnovy i metody* [Reference Book on Botanical Microtechnology. Foundation and methods]. Moscow, MGU Publ., 2004. 312 p.
3. Gontar' O. B., Zhirov V. K., Kazakov L. A., Svyatkovskaya E. A., Trostenyuk N. N. *Zelenoe stroitel'stvo v gorodakh Murmanskoy oblasti* [Green building in Murmansk region cities]. Apatity, 2010. 292 p.
4. Gontar' O. B., Svyatkovskaya E. A., Trostenyuk N. N., Korobeynikova N. M., Shlapak E. P., Nosatenko O. Yu. Condition monitoring of green spaces on some landscaping objects in the central part of Murmansk city [Monitoring sostoyaniya drevesnykh nasazhdeniy na nekotorykh ob'ektakh ozeleneniya v tsentral'noy chasti goroda Murmansk]. *Izvestiya Samarskogo naychnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Science]. 2013. Vol. 15. № 3 (2). P. 621–625.
5. Gorb V. K. *Sireni na Ukraine* [Lilac on the Ukraine]. Kiev, 1989. 160 p.
6. Dzyuba O. F. *Palinoindikatsiya kachestva okruzhayushchey sredy* [Palynoidication of the environment quality]. St. Petersburg, 2006. 197 p.
7. Dzyuba O. F., Kochubei O. V. Pollen quality as an indicator of exposure intensity of the impact of gas and oil complex on protected areas of Russia [Kachestvo pyl'tsy rasteniy kak indikator intensivnosti vozdeystviya neftegazovogo kompleksa na prirodnyuyu sredyu okhranyaemykh territoriy]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2014. Vol. 9. № 4. P. 19–24.
8. Zhakova S. N. *Reproduktivnaya biologiya nekotorykh vidov i kul'tivarov roda siren' Syringa L.: Aftoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Reproductive biology of some species and cultivars of lilac *Syringa* L.: Author's abst. PhD. biol. sci. diss.]. Perm, 2015. 23 p.
9. Zhakova S. N., Novoselova L. V. Blooming biology of *Syringa vulgaris* L. varieties [Biologiya tsveteniya sortov *Syringa vulgaris* L.]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. № 6. Available at: <http://www.science-education.ru/article/view?id=16177> (assecced 06.12.2016).
10. Morozova D. A., Vasilevskaya N. V. Palynological features of *Syringa josikae* upon introduction on urbanized territories at high latitudes [Palinologicheskie osobennosti *Syringa josikae* pri introduktsii na urbanizirovannykh territoriyakh

- v usloviyakh vysokikh shirot]. *Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchnoy konf. "Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rasteniy"*. St. Petersburg, 2016. P. 345–348.
11. Morozova D. A., Vasilevskaya N. V. Dynamics of indicators of palynomorphological analysis of *Syringa josikaea* Jacq. in conditions of technogenic pollution of Murmansk city [Dinamika pokazateley palinomorfoloicheskogo analiza *Syringa josikaea* Jacq. v usloviyakh tekhnogennoy zagryazneniya goroda Murmansk]. *Ecologicheskie problemy promyshlennyykh gorodov: Materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem*. Saratov, 2015. P. 143–146.
 12. Morozova D. A., Vasilevskaya N. V. Palynomorphological analysis of *Syringa josikaea* in conditions of an arctic city (on example of Murmansk) [Palinomorfoloicheskii analiz *Syringa josikaea* v usloviyakh arkticheskogo goroda (na primere Murmansk)]. *Sovremennoe sostoyanie, tendentsii razvitiya, ratsional'noe ispol'zovanie i sokhranenie biologicheskogo raznoobraziya rastitel'nogo mira: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konf.* Minsk, 2014. P. 223–226.
 13. Polyakova N. V. *Biologicheskie osobennosti predstaviteley roda Syringa L. pri introduktsii v Bashkirskom Predural'e: Dis. ... kand. biol. nauk* [Biological features of representatives of the genus *Syringa* L. introduced in Bashkir Urals. PhD. biol. sci. diss.]. Ufa, 2010. 188 p.
 14. Polyakova N. V. Seed biology of lilac species in the botanical garden of Ufa city [Biologiya semyan vidov sireni v botanicheskom sadu goroda Ufa]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki*. 2011. № 3 (98). Issue 14/1. P. 56–60.
 15. Polyakova N. V. The vitality of pollen of species of *Syringa* L. genus at an introduction [Zhiznesposobnost' pyl'tsy vidov roda *Syringa* L. pri introduktsii]. *Byulleten' botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2009. № 8. P. 235–238.
 16. Polyakova N. V. Seasonal rhythm of development of *Syringa* L. species in the Ufa city [Sezonnyy ritm razvitiya vidov roda *Syringa* L. v gorode Ufa]. *Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2011. Vol. 44. Part II. P. 120–125.
 17. Pshennikova L. M. *Sireni, kul'tiviruemye v Botanicheskom sadu-institute DVO RAN* [Lilacs, cultivated in the garden – institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Science]. Vladivostok, 2007. 113 p.
 18. Svyatkovskaya E. A., Gontar' O. B., Trostenyuk N. N., Kostina V. A. Species diversity and state of wood species in various types of green spaces of Apatity city [Vidovoe raznoobrazie i sostoyanie drevesnykh introduktsentov v raznykh tipakh ozelenennykh territoriy goroda Apatity]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009. Vol. 12. № 3. P. 539–544.
 19. Tokarev P. I. *Palinologiya drevesnykh rasteniy, proizrastayushchikh na territorii Rossii: Dis. ... d-ra biol. nauk* [Palinology of woody plants growing on the territory of Russia. Dr. biol. sci. diss.]. Moscow, 2004. 498 p.
 20. Sharenkova E. A. *Biologiya tsveteniya, opyleniya i tsitoembriologicheskoe issledovanie nekotorykh vidov sireny v usloviyakh Pribaykal'ya: Aftoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Biology of blossoming, pollination and cytoembriological research of some species of lilacs in conditions of Baikal region. Author's abst. PhD. biol. sci. diss.]. Minsk, 1969. 19 p.
 21. Dadpour M., Naghilo S., Peighambardoust S., Panahirad S., Aliakbari M., Movafeghi A. Comparison of floral ontogeny in wild – type and double flowered phenotypes of *Syringa vulgaris* L. (Oleaceae) // *Scientia Horticulturae*. 2011. Vol. 127 (4). P. 535–541.
 22. Jedrzejuk A. Ultrastructure of Pollen Grains from Forced and Unforced Shrubs of Common Lilac // *Journal of Plant Growth Regulation*. 2005. Vol. 24 (2). P. 83–92.
 23. Jedrzejuk A., Lukaszewska A. High temperatures applied at fall forcing disturb ovule development in *Syringa vulgaris* L. "Mme Florent Stepman" // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2008. Vol. 30. Issue 5. P. 673–678.
 24. Naghilo S., Dadpour M., Gohari G., Endress P. Comparative study of inflorescence development of *Oleaceae* // *Amer. J. of Botany*. 2013. Vol. 100 (4). P. 647–663.

Поступила в редакцию 12.09.2016

ТАТЬЯНА ВАЛЕНТИНОВНА ВАРЛАМОВА

кандидат медицинских наук, доцент кафедры педиатрии и детской хирургии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
varlamova@karelia.ru

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА ДОРШАКОВА

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

ТАТЬЯНА АЛЕКСЕЕВНА КАРАПЕТЯН

доктор медицинских наук, профессор кафедры семейной медицины, общественного здоровья, организации здравоохранения, безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
kara@karelia.ru

**ВИРУСЫ КАК КОФАКТОРЫ ПРОЦЕССА НАРУШЕНИЙ
АУТОИММУННОЙ ТОЛЕРАНТНОСТИ***

Вирусы способны изменять генетическую информацию пораженного организма, включая свои нуклеотиды в генетический код хозяина. В организме человека постоянно осуществляется контроль за индивидуальным клеточно-молекулярным составом. Под влиянием вирусов возможен срыв врожденной толерантности к собственным антигенам с развитием аутоиммунной патологии. Наиболее изучена взаимосвязь с аутоиммунными заболеваниями таких вирусов, как цитомегаловирус (ЦМВ), вирус простого герпеса, Эпштейн-Барр вирус (ЭБ), гепатита В вирус, энтеровирусы. Связь вирусов и аутоиммунных заболеваний подтверждается наличием у больных высоких титров антител к РНК- и ДНК-вирусам, субвирусным частицам и антигенам, перекрестных антигенов между вирусами и тканями человека, самих вирусов и вирусных антигенов в тканях и клетках периферической крови.

Ключевые слова: вирусы, энтеровирусы, геном, иммунная система, аутоиммунные заболевания

В природе существует огромное разнообразие вирусов, роль которых в эволюции человека огромна. Вирусы, проникая в организм, распространяются по кровеносной, лимфатической, нервной системам и приводят к развитию патологических процессов, которые могут закончиться летальным исходом. Вызывая спорадические и эпидемические заболевания человека, животных и растений, они наносят значительный экономический ущерб. Живой организм может быть заражен сразу несколькими вирусами, что приводит к появлению новых рекомбинантных форм возбудителя.

Циркулирующие в природе вирусы меняются, в результате мутаций появляются новые разновидности с модифицированным геномом. Они способны изменять генетическую информацию пораженного организма, включая свои нуклеотиды в генетический код хозяина, в результате чего происходит возникновение заболеваний совершенно другой природы.

Защита от вирусной инфекции на ранних стадиях осуществляется механизмами врожденного иммунитета: интерферонами, натуральными клетками, макрофагами, а также адаптивным иммунитетом. Антитела совместно с системой комплемента способны ограничить распространение вируса и предупредить реинфекцию. Т-клетки опосредуют клеточный иммунитет разными путями: цитотоксические Т-лимфоциты (CD 8+) поражают инфицированные клетки; Т-клетки (CD 4+) выступают как клетки-эффекторы.

В организме человека постоянно осуществляется контроль за индивидуальным клеточно-молекулярным составом. При нарушении иммунобиологического надзора может развиваться состояние усиленной реактивности иммунной системы, при котором иммунный ответ развивается в отношении собственных клеток, тканей и молекул организма. Срыв толерантности к собственным антигенам возможен в генетически предрасположенном организме под влиянием неблагоприятных факторов окружающей сре-

ды, среди которых ведущая роль принадлежит вирусам.

Большое количество исследований посвящено роли вирусов в патогенезе аутоиммунных заболеваний. Наиболее изучена взаимосвязь с аутоиммунной патологией таких вирусов, как цитомегаловирус (ЦМВ), вирус простого герпеса, Эпштейн-Барр вирус (ЭБ), также гепатита В вирус. Все они имеют широкую распространенность в человеческой популяции и могут вызывать хроническое носительство. Так, на сегодняшний день установлена связь между латентной ЦМВ-инфекцией и развитием аутоиммунного тиреоидита. Выявлена высокая корреляция между носительством герпес-вируса, ЦМВ и развитием аутоиммунного антифосфолипидного синдрома у женщин с невынашиванием беременности.

Связь вирусов и аутоиммунной патологии подтверждается наличием у больных высоких титров антител к РНК- и ДНК-вирусам, субвирусным частицам и антигенам (ЦМВ, ЭБ, Коксаки, миксо- и парамиксовирус), перекрестных антигенов между вирусами и тканями человека, самих вирусов и вирусных антигенов в тканях и клетках периферической крови, что выявляется с помощью полимеразно-цепной реакции, иммунофлюоресценции и электронной микроскопии.

Установлено несколько механизмов срыва врожденной толерантности к собственным антигенам при аутоиммунных заболеваниях. В соответствии с гипотезой молекулярной мимикрии инфекционный агент имеет антигенные детерминанты, сходные по строению с компонентами тканевой организации. В результате перекрестного реагирования активированные лимфоциты действуют против антигенов вирусов и аутоантигенов. Вторым механизмом в запуске аутоиммунных реакций является неадекватная экспрессия молекул главного комплекса гистосовместимости I класса на инфицированных клетках. Следующим возможным механизмом является запуск вирусами локального воспалительного процесса в пораженном органе, что приводит к повышению продукции гамма-интерферонов, которые стимулируют экспрессию молекул главного комплекса. Первоначально иммунный ответ ограничен антигенными детерминантами, присутствующими в иммуногене, в дальнейшем при повреждении тканевой высвобождаются тканеспецифические собственные антигены, которые могут вызвать активацию клонов лимфоцитов, специфичных к другим эпитопам данного белка или ткани. Это приводит к распространению иммунного ответа с эпитопов вируса на эпитопы собственной ткани и запуску аутоиммунной реакции, которая продолжается даже после элиминации вируса. Это так называемое эпитопное распространение ответного ответа. Также существует механизм поликлональной активации лимфоцитов. Вирусы продуцируют белки, которые присоединяются к

антигенраспознающему рецептору и молекулам главного комплекса гистосовместимости, вызывают поликлональную активацию Т-лимфоцитов, пролиферацию клонов В-лимфоцитов, которые синтезируют IgM в отсутствие Т-хелперов, и запускают аутоиммунный ответ. Так, при инфекции, вызванной ЭБ-вирусом, синтезируются аутоантитела против различных антигенов, в том числе и против Т- и В-лимфоцитов, антиядерные антитела и ревматоидный фактор. Вирусы, находящиеся в антигенпредставляющих клетках, могут формировать ко-стимулирующие сигналы для аутореактивных лимфоцитов, что вызывает их пролиферацию, активацию и нарушение механизмов иммунологической толерантности.

Одним из наиболее изученных аутоиммунных заболеваний является сахарный диабет 1 типа (СД 1 типа). В последние годы во всем мире наблюдается всплеск заболеваемости этой патологией, максимально выраженный среди детского и подросткового населения. Больные СД 1 типа составляют гетерогенную группу. Гетерогенность проявляется не только особенностями клинического течения заболевания, но и разнообразием этиологических факторов, участвующих в сложных механизмах его развития. До сих пор точно не установлено, что именно запускает каскад аутоиммунных реакций, приводящих к развитию СД 1 типа.

В происхождении СД 1 типа существенное значение имеют два взаимосвязанных фактора – генетический и аутоиммунный. Первый подготавливает основу для аутоиммунных процессов, возникающих под влиянием вирусной инфекции и, возможно, химических цитотоксических воздействий, различных по своей природе и оказывающих повреждающее действие на б-клетки островков поджелудочной железы [12].

В развитии заболевания принято выделять несколько стадий:

1-я стадия определяется генетической предрасположенностью к СД 1 типа, обусловленной генами, относящимися к комплексу HLA (DR 3/4) [2], [5], [14].

2-я стадия – гипотетический пусковой момент. Рост числа новых случаев СД 1 типа у генетически предрасположенных лиц за последние полтора века был связан с многочисленными экологическими «триггерами» или стимуляторами, такими как энтеровирусы, диеты, и, совсем недавно, с кишечными микроорганизмами. Действие различных факторов внешней среды может быть установлено у 60 % больных с впервые выявленным СД 1 типа. Триггеры вызывают разрушение бета-клеток путем прямого цитолитического эффекта или путем активации аутоиммунной реакции [20].

В исследованиях не было выявлено единого пускового механизма у всех пациентов с СД 1 типа. Особое внимание обращают на микрофлору

кишечника, так как на уровне желудочно-кишечного тракта происходит взаимодействие иммунной системы, микроорганизмов и питания. Сбой в микрофлоре кишечника приводит к нарушению интегративной системы и, вероятно, к возникновению СД 1 типа [4].

Роль вирусных инфекций в патогенезе СД 1 типа связана с их способностью поражать бета-клетки островков поджелудочной железы. Особое значение здесь имеют вирусы краснухи, эпидемического паротита, ветряной оспы, Коксаки В4, инфекционного мононуклеоза, инфекционного гепатита и ЦМВ [3], [6], [9], [12], [24]. Эпидемиологические исследования показали, что у больных с впервые выявленным СД 1 типа определяются титры вирус-специфических IgM, что говорит в пользу возможной роли вируса в качестве триггера этой патологии [19].

Подтверждением «вирусной теории» в развитии заболевания является тот факт, что СД 1 типа чаще развивается зимой и ранней весной (79 % от всех наблюдений), когда отмечается сезонный всплеск большинства из указанных вирусных инфекций.

Экологические факторы играют важную роль в патогенезе СД 1 типа и являются привлекательными объектами для создания профилактических мероприятий. Несколько исследований показали, что вирусы могут вызывать диабет у животных, что указывает на их потенциал в качестве кандидатов на экологически инициирующие агенты. Тем не менее исследования на людях были затруднены сложным характером патогенеза заболевания, в результате чего вопрос о вирусной этиологии пока остается без окончательного ответа. Значительный прогресс был достигнут в последнее время путем поиска вирусов среди образцов ткани поджелудочной железы. Появляется все больше доказательств для группы энтеровирусов, выступающих в качестве возможных основных триггеров окружающей среды в развитии СД 1 типа [9].

Энтеровирусы, однонитевые РНК-вирусы, повсеместно встречаются по всему миру. Эти вирусы обычно вызывают бессимптомные или легкие лихорадочные заболевания, но могут провоцировать серьезную патологию, такую как СД 1 типа, панкреатит, паралич, миокардит или гепатит. Энтеровирус обладает антигенной мимикрией, может экспрессировать Т-клеточные рецепторы, что способствует возникновению аутоиммунного процесса [16]. Вирусы могут быть вовлечены в патогенез СД 1 типа, по крайней мере, двумя различными путями: индуцируя аутоиммунитет против β -клеток или оказывая прямое повреждающее действие на β -клетки. Что касается вирус-опосредованного аутоиммунитета, то обсуждается участие ретровирусов, реовирусов, ротавирусов, вируса эпидемического паротита, краснухи, ЦМВ и ЭБ [1], [9]. Таким образом, ин-

фекции в детском возрасте считаются потенциальным пусковым механизмом СД 1 типа.

Энтеровирусы имеют тропизм к клеткам панкреатических островков, могут вызывать повреждение бета-клеток. Кроме того, был обнаружен полиморфизм гена, кодирующего врожденный иммунитет для энтеровирусов. Основываясь на данных выводах, интерес к возможной разработке вакцин против этих вирусов увеличился. Тем не менее в настоящее время не хватает информации, необходимой для разработки вакцины против диабетогенных энтеровирусов, например касающейся идентификации их конкретных серотипов и причинно-следственной связи между этими вирусами и началом диабета [18]. Наибольшее значение в дебюте СД 1 типа в раннем возрасте играют энтеровирусы по сравнению с Коксаки вирусами [17]. В работе С. Р. Smith и др. представлены данные по близнецам, у которых в возрасте 14 месяцев после перенесенной энтеровирусной инфекции развился СД 1 типа. Клиническая картина диабета проявилась у близнецов с интервалом 12 дней. Энтеровирусная инфекция была обнаружена у каждого близнеца при диагностике с помощью полимеразной цепной реакции. Выявлен был ЕСНО-вирус 6 типа. В дальнейшем, через 5 месяцев, ПЦР на энтеровирусы были отрицательными у обоих детей [21].

В работе К. W. Kim и др. показано, что энтеровирусы нарушают подавление РНК-направленного действия провоспалительных факторов в пределах бета-клеток, таким образом приводя к усилению противовирусного иммунного ответа, что способствует разрушению β -клеток и, в конечном итоге, к развитию СД 1 типа [11].

Энтеровирусная инфекция может не только инициировать, но и ускорять процесс повреждения бета-клеток, ведущих к развитию СД 1 типа. Исследования последних лет позволяют предположить, что это может произойти задолго до появления диабета и даже в утробе матери. M. Lönnrot описал ребенка, у которого манифестация диабета произошла в возрасте 14 месяцев. Он перенес энтеровирусную инфекцию: первую до 3 месяцев, а вторую в возрасте от 9 до 12 месяцев. Первая инфекция, вероятно, произошла при рождении, когда у ребенка были симптомы респираторной инфекции и изначально отмечался низкий уровень материнских антител против энтеровирусов. Этот случай согласуется с текущей гипотезой, что энтеровирусные инфекции могут вызвать аутоиммунный сахарный диабет, если инфицирование происходит на ранних этапах жизни [15]. Согласно современным предположениям, увеличение частоты СД 1 типа может быть вызвано изменением эпидемиологии энтеровирусной инфекции как одного из основных кандидатов на экологический триггер повреждения β -клеток [8], [12], [22], [23].

Клеточная реакция на вирусную инфекцию зависит от врожденных противовирусных механизмов, которые различны среди тканей организма и даже типов клеток. Некоторые данные указывают на то, что альфа-клетки панкреатических островков обладают более эффективным противовирусным ответом на диабетогенные вирусы по сравнению с бета-клетками. Поэтому альфа-клетки способны уничтожить вирусные инфекции и не подвергаются апоптозу. Эта разница может объяснить, почему бета-клетки являются мишенью аутоиммунной реакции и погибают во время развития СД 1 типа.

В настоящее время нет убедительных доказательств в пользу или против ассоциации между Коксаки вирусной инфекцией и СД 1 типа [7], [17].

Парвовирусная инфекция также рассматривается как пусковой механизм аутоиммунных реакций в организме человека. Парвовирус является одноцепочечным ДНК-вирусом, который обычно вызывает инфекционную эритему, артралгии, гибель плода, преходящий апластический кризис. Менее распространенные клинические проявления включают атипичные кожные высыпания, неврологические и кардиологические синдромы, а также различные цитопении. Парвовирус В19 также был связан с развитием множества

различных аутоиммунных заболеваний, в том числе ревматологических, неврологических, нервно-мышечных, сердечно-сосудистых, гематологических, нефрологических и метаболических. Механизмы парвовирус В19-ассоциированного аутоиммунитета включают молекулярную мимикрию (IgG-антител к белкам парвовируса В19 могут перекрестно реагировать с различными аутоантигенами тканей человека, в том числе с коллагеном, кератином, рецепторами ангиотензина II типа 1, миелином, кардиолипином и гликопротеинами мембран тромбоцитов) [10].

Недавние исследования показали, что вирус гриппа может увеличить риск развития СД 1 типа [13].

Таким образом, в развитии аутоиммунных заболеваний, в частности СД 1 типа, пусковым механизмом срыва врожденной толерантности к собственным антигенам могут являться вирусы. При этом, несмотря на достижения современной науки, она пока еще далека от возможности профилактики развития данной патологии, что определяет важность поиска новых, патогенетически обоснованных превентивных мероприятий в дополнение к существующим стандартным подходам. В этой связи очень перспективно изучение роли вирусных инфекций как кофакторов процесса нарушений аутоиммунной толерантности.

* Исследование поддержано РГНФ, проект № 14-06-00313.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харлашина Е. А., Шаповальянц О. С. Дебют сахарного диабета 1 типа на фоне инфекционного мононуклеоза // Сахарный диабет. 2010. № 1. С. 126–128.
2. Awa W. L., Boehm B. O., Kapellen T., Rami B., Rupprath P., Marg W., Becker M., Holl R. W. HLA-DR genotypes influence age at disease onset in children and juveniles with type 1 diabetes mellitus // Eur. J. Endocrinol. 2010. Vol. 163. № 1. P. 97–104.
3. Bach J. F. Infections and autoimmune diseases // J. Autoimmun. 2005. Vol. 25. P. 74–80.
4. Bibbò S., Dore M. P., Pes G. M., Delitala G., Delitala A. P. Is there a role for gut microbiota in type 1 diabetes pathogenesis? // Ann. Med. 2016. № 8. P. 1–25.
5. Bjørnvold M., Undlien D. E., Joner G., Dahl-Jørgensen K., Njølstad P. R., Akselsen H. E., Gervin K., Rønningen K. S., Stene L. C. Joint effects of HLA, INS, PTPN22 and CTLA4 genes on the risk of type 1 diabetes // Diabetologia. 2008. Vol. 51. № 4. P. 589–596.
6. Cinek O., Witsø E., Jeansson S., Rasmussen T., Drevinek P., Wetlesen T., Vavrinec J., Grinde B., Rønningen K. S. Longitudinal observation of enterovirus and adenovirus in stool samples from Norwegian infants with the highest genetic risk of type 1 diabetes // J. Clin. Virol. 2006. Vol. 35. № 1. P. 33–40.
7. Green J., Casabonne D., Newton R. Coxsackie B virus serology and Type 1 diabetes mellitus: a systematic review of published case-control studies // Diabet. Med. 2004. Vol. 21. № 6. P. 507–514.
8. Hyöty H., Taylor K. W. The role of viruses in human diabetes // Diabetologia. 2002. Vol. 45. P. 1353–1361.
9. Hyöty H. Viruses in type 1 diabetes // Pediatr. Diabetes. 2016. Vol. 17. P. 56–64.
10. Kerr J. R. The role of parvovirus B19 in the pathogenesis of autoimmunity and autoimmune disease // J. Clin. Pathol. 2016. Vol. 69. № 4. P. 279–291.
11. Kim K. W., Ho A., Alshabee-Akil A., Hardikar A. A., Kay T. W., Rawlinson W. D., Craig M. E. Coxsackievirus B5 Infection Induces Dysregulation of microRNAs Predicted to Target Known Type 1 Diabetes Risk Genes in Human Pancreatic Islets // Diabetes. 2016. Vol. 65. № 4. P. 996–1003.
12. Knip M., Hyöty H., Dabelea D., Klingensmith G. J. Environmental determinants: The role of viruses and standard of hygiene // Epidemiology of Pediatric and Adolescent Diabetes. 2008. P. 63–64.
13. Kondrashova A., Nurminen N., Patrikainen M., Huhtala H., Lehtonen J., Toppari J., Ilonen J., Simell O. G., Veijola R., Knip M., Hyöty H. Influenza A virus antibodies show no association with pancreatic islet autoantibodies in children genetically predisposed to type 1 diabetes // Diabetologia. 2015. Vol. 58. № 11. P. 2592–2595.
14. Larsson H. E., Lynch K., Lernmark B., Nilsson A., Hansson G., Almgren P., Lernmark A. Diabetes-associated HLA genotypes affect birthweight in the general population // Diabetologia. 2005. Vol. 48. № 8. P. 1484–1491.

15. Lönnrot M., Knip M., Roivainen M., Koskela P., Akerblom H. K., Hyöty H. Onset of type 1 diabetes mellitus in infancy after enterovirus infections // *Diabet. Med.* 1998. Vol. 15. № 5. P. 431–434.
16. Massilamy C., Koenig A., Reddy J., Huber S., Buskiewicz I. Autoimmunity in picornavirus infections // *Curr. Opin. Virol.* 2016. Vol. 16. P. 8–14.
17. Nairn C., Galbraith D. N., Taylor K. W., Clements G. B. Enterovirus variants in the serum of children at the onset of Type 1 diabetes mellitus // *Diabet. Med.* 1999. Vol. 16. № 6. P. 509–513.
18. Nurminen N., Oikarinen S., Hyöty H. Virus infections as potential targets of preventive treatments for type 1 diabetes // *Rev. Diabet. Stud.* 2012. Vol. 9. № 4. P. 260–271.
19. Oikarinen M., Tauriainen S., Honkanen T. Detection of enteroviruses in intestine of type 1 diabetic patients // *Clin. Exp. Immunol.* 2008. Vol. 151. P. 71–75.
20. Rodriguez-Calvo T., Sabouri S., Anquetil F., von Herrath M. G. The viral paradigm in type 1 diabetes: Who are the main suspects? // *Autoimmun. Rev.* 2016. Vol. 15. № 10. P. 964–969.
21. Smith C. P., Clements G. B., Riding M. H., Collins P., Bottazzo G. F., Taylor K. W. Simultaneous onset of type 1 diabetes mellitus in identical infant twins with enterovirus infection // *Diabet. Med.* 1998. Vol. 15. № 6. P. 515–517.
22. Tauriainen S., Oikarinen S., Oikarinen M., Hyöty H. Enteroviruses in the pathogenesis of type 1 diabetes // *Semin. Immunopathol.* 2011. Vol. 33. P. 45–55.
23. Yeung W. C., Rawlinson W. D., Craig M. Enterovirus infection and type 1 diabetes mellitus: Systematic review and meta-analysis of observational molecular studies // *B. M. J.* 2011. Vol. 342. P. 35.
24. Viskari H., Ludvigsson J., Uibo R., Salur L., Marciulionyte D., Hermann R., Soltesz G., Fuchtenbusch M., Ziegler A. G., Kondrashova A., Romanov A., Knip M., Hyöty H. Relationship between the incidence of type 1 diabetes and enterovirus infections in different European populations: results from the EPIVIR project // *J. Med. Virol.* 2004. Vol. 72. № 4. P. 610–617.

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

VIRUSES AS COFACTORS OF AUTOIMMUNE TOLERANCE VIOLATION PROCESS

Viruses can alter any genetic information of the affected organism through the process of nucleotides invasion into the genetic code of the host. A human body constantly monitors individual cells' molecular composition. Under the influence of invaded viruses a process of disruption of inherent tolerance to self-antigens together with the development of autoimmune pathology may evolve. Correlations of autoimmune diseases with such viruses as cytomegalovirus (CMV), herpes simplex virus, Epstein-Barr virus (EB), hepatitis B virus, enterovirus were thoroughly studied. Communication between viruses and autoimmune diseases is confirmed by the frequent occurrence of high antibody titres to DNA and RNA viruses, subviral particles and antigens, cross antigens between viruses and human tissue, viruses themselves and virus antigens and peripheral blood cells.

Key words: viruses, enterovirus, the gene, the immune system, autoimmune diseases

REFERENCES

1. Kharlashina E. A., Shapoval'yants O. S. Debut of type 1 diabetes in the background of infectious mononucleosis [Debyut sakharnogo diabeta 1 tipa na fone infektsionnogo mononukleoz]. *Sakharnyy diabet.* 2010. № 1. P. 126–128.
2. Awa W. L., Boehm B. O., Kapellen T., Rami B., Rupprath P., Marg W., Becker M., Holl R. W. HLA-DR genotypes influence age at disease onset in children and juveniles with type 1 diabetes mellitus // *Eur. J. Endocrinol.* 2010. Vol. 163. № 1. P. 97–104.
3. Bach J. F. Infections and autoimmune diseases // *J. Autoimmun.* 2005. Vol. 25. P. 74–80.
4. Bibbò S., Dore M. P., Pes G. M., Delitala G., Delitala A. P. Is there a role for gut microbiota in type 1 diabetes pathogenesis? // *Ann. Med.* 2016. № 8. P. 1–25.
5. Bjørnvold M., Undlien D. E., Jøner G., Dahl-Jørgensen K., Njølstad P. R., Akselsen H. E., Gervin K., Rønningen K. S., Stene L. C. Joint effects of HLA, INS, PTPN22 and CTLA4 genes on the risk of type 1 diabetes // *Diabetologia.* 2008. Vol. 51. № 4. P. 589–596.
6. Cinek O., Witsø E., Jeansson S., Rasmussen T., Drevinek P., Wetlesen T., Vavrinec J., Grinde B., Rønningen K. S. Longitudinal observation of enterovirus and adenovirus in stool samples from Norwegian infants with the highest genetic risk of type 1 diabetes // *J. Clin. Virol.* 2006. Vol. 35. № 1. P. 33–40.
7. Green J., Casabonne D., Newton R. Coxsackie B virus serology and Type 1 diabetes mellitus: a systematic review of published case-control studies // *Diabet. Med.* 2004. Vol. 21. № 6. P. 507–514.
8. Hyöty H., Taylor K. W. The role of viruses in human diabetes // *Diabetologia.* 2002. Vol. 45. P. 1353–1361.
9. Hyöty H. Viruses in type 1 diabetes // *Pediatr. Diabetes.* 2016. Vol. 17. P. 56–64.
10. Kerr J. R. The role of parvovirus B19 in the pathogenesis of autoimmunity and autoimmune disease // *J. Clin. Pathol.* 2016. Vol. 69. № 4. P. 279–291.
11. Kim K. W., Ho A., Alshabee-Akil A., Hardikar A. A., Kay T. W., Rawlinson W. D., Craig M. E. Coxsackievirus B5 Infection Induces Dysregulation of microRNAs Predicted to Target Known Type 1 Diabetes Risk Genes in Human Pancreatic Islets // *Diabetes.* 2016. Vol. 65. № 4. P. 996–1003.
12. Knip M., Hyöty H., Dabelea D., Klingensmith G. J. Environmental determinants: The role of viruses and standard of hygiene // *Epidemiology of Pediatric and Adolescent Diabetes.* 2008. P. 63–64.

13. Kondrashova A., Nurminen N., Patrikainen M., Huhtala H., Lehtonen J., Toppari J., Ilonen J., Simell O. G., Veijola R., Knip M., Hyöty H. Influenza A virus antibodies show no association with pancreatic islet autoantibodies in children genetically predisposed to type 1 diabetes // *Diabetologia*. 2015. Vol. 58. № 11. P. 2592–2595.
14. Larsson H. E., Lynch K., Lernmark B., Nilsson A., Hansson G., Almgren P., Lernmark A. Diabetes-associated HLA genotypes affect birthweight in the general population // *Diabetologia*. 2005. Vol. 48. № 8. P. 1484–1491.
15. Lönnrot M., Knip M., Roivainen M., Koskela P., Akerblom H. K., Hyöty H. Onset of type 1 diabetes mellitus in infancy after enterovirus infections // *Diabet. Med.* 1998. Vol. 15. № 5. P. 431–434.
16. Massilamany C., Koenig A., Reddy J., Huber S., Buskiewicz I. Autoimmunity in picornavirus infections // *Curr. Opin. Virol.* 2016. Vol. 16. P. 8–14.
17. Nairn C., Galbraith D. N., Taylor K. W., Clements G. B. Enterovirus variants in the serum of children at the onset of Type 1 diabetes mellitus // *Diabet. Med.* 1999. Vol. 16. № 6. P. 509–513.
18. Nurminen N., Oikarinen S., Hyöty H. Virus infections as potential targets of preventive treatments for type 1 diabetes // *Rev. Diabet Stud.* 2012. Vol. 9. № 4. P. 260–271.
19. Oikarinen M., Tauriainen S., Honkanen T. Detection of enteroviruses in intestine of type 1 diabetic patients // *Clin. Exp. Immunol.* 2008. Vol. 151. P. 71–75.
20. Rodriguez-Calvo T., Sabouri S., Anquetil F., von Herrath M. G. The viral paradigm in type 1 diabetes: Who are the main suspects? // *Autoimmun. Rev.* 2016 Vol. 15. № 10. P. 964–969.
21. Smith C. P., Clements G. B., Riding M. H., Collins P., Bottazzo G. F., Taylor K. W. Simultaneous onset of type 1 diabetes mellitus in identical infant twins with enterovirus infection // *Diabet. Med.* 1998. Vol. 15. № 6. P. 515–517.
22. Tauriainen S., Oikarinen S., Oikarinen M., Hyöty H. Enteroviruses in the pathogenesis of type 1 diabetes // *Semin. Immunopathol.* 2011. Vol. 33. P. 45–55.
23. Yeung W. C., Rawlinson W. D., Craig M. Enterovirus infection and type 1 diabetes mellitus: Systematic review and meta-analysis of observational molecular studies // *B. M. J.* 2011. Vol. 342. P. 35.
24. Viskari H., Ludvigsson J., Uibo R., Salur L., Marciulionyte D., Hermann R., Soltész G., Fuchtenbusch M., Ziegler A. G., Kondrashova A., Romanov A., Knip M., Hyöty H. Relationship between the incidence of type 1 diabetes and enterovirus infections in different European populations: results from the EPIVIR project // *J. Med. Virol.* 2004. Vol. 72. № 4. P. 610–617.

Поступила в редакцию 05.09.2016

ДЕНИС ВАСИЛЬЕВИЧ ВЕСЕЛКИН

доктор биологических наук, заведующий лабораторией биоразнообразия растительного мира и микобиоты, Институт экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация)
denis_v@ipae.uran.ru

ЕВГЕНИЯ ФЕДОРОВНА МАРКОВСКАЯ

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

АННА АНАТОЛЬЕВНА БЕТЕХТИНА

кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии биологического департамента, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)
betechtina@mail.ru

АНЖЕЛЛА ВАЛЕРЬЕВНА СОНИНА

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

ЛЮДМИЛА АЛЕКСАНДРОВНА СЕРГИЕНКО

доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
muddycoast@gmail.ru

МИКОРИЗООБРАЗОВАНИЕ У СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ*

Исследована встречаемость гиф, арбускул и везикул арбускулярных грибов в корнях и встречаемость корневых волосков у шести доминирующих видов травянистых растений приливно-отливной зоны западного побережья Белого моря. Немикоризные виды – *Salicornia europaea*, *Triglochin maritima*. Виды с высокой встречаемостью арбускулярной микоризы – *Glaux maritima*, *Plantago maritima*, *Tripolium vulgare*. Низкая встречаемость микоризы найдена у *Puccinellia maritima*. Произрастание микоризных сосудистых растений в полосе редко затапливаемой супралиторали или полосе регулярно затапливаемой верхней литорали не сказывается на формировании микоризы. Корневые волоски более активно образуются у немикоризных видов по сравнению с микоризными и в зоне супралиторали по сравнению с нижележащей зоной верхней литорали.

Ключевые слова: сосудистые растения, арбускулярная микориза, береговая зона, засоление, Белое море

ВВЕДЕНИЕ

Микориза – приспособление большинства наземных растений для поглощения минеральных элементов и воды из почвы. Разные типы симбиозов с микоризными грибами формируют 80–86 % видов сосудистых растений [7], [12], [26]. Самый распространенный тип микориз – арбускулярные (АМ), характерные преимущественно для травянистых растений. Морфологическая картина трансформации корней при образовании АМ состоит в проникновении внутрь первичной коры корней гиф арбускулярно-микоризных грибов и образовании специализированных структур: арбускул (древовидных разветвлений гиф в клетках коры) и везикул (округлых расширений гиф).

Типологические и количественные характеристики микориз тесно коррелируют с характеристиками жизненных стратегий и экофизиологическими свойствами растений [1], [5], [14], [15], [17]. Многообразна роль микоризы для сообществ растений, формирования их структуры, разнообразия и устойчивости [9], [18], [22], [25]. Тезис о сопряженности разнообразия растений с разнообразием их симбиотических связей – важный компонент современных представлений об организации наземных сообществ.

Одно из направлений исследований, позволяющее лучше понять механизмы адаптации растений к условиям существования, – анализ адаптаций к экстремальным условиям. В этом отношении удобный тип местообитания для про-

верки некоторых представлений об экологической роли микориз – литораль. Из-за промывного режима в переувлажненных литоральных местообитаниях возможны низкий уровень основных элементов минерального питания и возникновение анаэробных зон в корнеобитаемом слое. Важный общий неблагоприятный для большинства растений фактор – соленость воды и засоленность субстратов. Для развития микоризы критическим условием может быть несформированность, несомкнутость растительного покрова, поскольку в пионерных раннесукцессионных сообществах микоризообразование не является обязательным для успешной адаптации растений [6], [22].

В 2015 году исследованы микоризы у трав приливо-отливной зоны западного побережья Белого моря. Цель работы: на основе литературных и оригинальных оценок микоризного статуса растений проанализировать встречаемость микориз разных типов на литорали с учетом положения в градиенте «супралитораль – верхняя литораль».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ, МЕСТО ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор материала выполнен во время комплексной экспедиции кафедры ботаники и физиологии растений Петрозаводского государственного университета в июле 2015 года на берегу Онежской губы Белого моря в окрестностях с. Колежма, в устье р. Колежмы, в 80 км восточнее г. Беломорска (Беломорский р-н, Республика Карелия). Климат умеренно-континентальный с чертами морского. Зима продолжительная, относительно мягкая. Белое море зимой замерзает. Лето короткое и прохладное. Среднегодовая температура от 0 до +3 °С. Продолжительность безморозного периода 105–115 дней. Годовое количество осадков 450–550 мм.

Основное место сбора материала – трансекта на берегу моря рядом с о. Лопский, от уреза воды до коренного берега, включающая верхнюю литораль и супралитораль. Часть образцов собрана в пределах геоморфологического образования «томболо» («перейма»), которое представляет перемычку между коренным берегом и о. Лопский, образовавшуюся в результате эвстатического поднятия западного побережья Белого моря (2–4 мм в год).

Супралитораль – территория, которая во время ежедневных приливов не заливается, но затапливается при нагонах и сизигийных приливах. Супралитораль четко отделяется от плакорной растительности приморской террасы линией штормовых выбросов. Субстрат – суглинок с легким песком (30 %) и гравием (25 %). Микрорельеф не выражен. Дренаж слабый, но застойного переувлажнения нет. Наблюдается периодическое переувлажнение из-за таяния снега, дождей

и штормов. Среднее проективное покрытие растений 40 %.

Верхняя литораль – примыкающая к супралиторали полоса, непродолжительна, то есть на несколько часов, затапливаемая во время ежедневных приливов. Субстрат – задернованный суглинок с гравием (10 %) и песком (10 %). Микрорельеф – кочки дерновинных злаков и осок. Дренаж слабый. Из-за приливов значительную часть вегетационного периода сохраняется застойное переувлажнение. Вода удерживается в органическом / торфяном горизонте. Среднее проективное покрытие растений 36 %.

Томболо расположено между коренным берегом и о. Лопский. Длина томболо – около 2 км. Основной субстрат – илистый суглинок, перекрытый аллювиальными илистыми отложениями в центральной части томболо и песчаными по речному и лагунному берегам. Растительность представлена сообществами с *Festuca rubra* и *Carex mackenziei* у коренного берега, группировками *Salicornia europaea* на бессточных центральных ровных поверхностях, осоково-злаковыми сообществами на задернованных руслах бывших высохших водотоков и разнотравно-злаковыми сообществами на более высоких ровных участках томболо с доминированием *Triglochin maritima*, *Spergularia marina*, *Potentilla egedei*, *Puccinellia maritima*. В центральной части томболо увлажнение застойное, в береговой части обильное. Среднее проективное покрытие растений – ближе к берегам до 90 %, в центре – 50–60 %.

Модельные виды. Микориза исследована в корнях 6 видов растений: *Glaux maritima* L. (млечник морской), *Plantago maritima* L. (подорожник морской), *Puccinellia maritima* (Huds.) Parl. (бескильница морская), *Salicornia europaea* L. (солерос европейский), *Triglochin maritima* L. (триостренник морской), *Tripolium vulgare* Ness (солончаковая астра обыкновенная). Названия видов приводятся по сводке С. К. Черепанова [10]. *Triglochin maritima* (Juncaginaceae) – евразийский бореальный вид; травянистый поликарпик; подземно-столонное слабо-розеточное растение, образующее небольшие дерновины с толстым корневищем. *Plantago maritima* (Plantaginaceae) – евразийский гипоарктический вид; травянистый поликарпик; многолетник с моноподиальным корневищем и разветвленным и партикулирующим каудексом. *Glaux maritima* (Primulaceae) – евразийский бореальный вид; подземно-столонный травянистый поликарпик. *Tripolium vulgare* (Asteraceae) – евразийский бореальный вид; однолетник с быстро отмирающим главным корнем и обильными придаточными корнями. *Puccinellia maritima* (Poaceae) – амфиатлантический бореальный вид; травянистый рыхлодерновинный наземноползучий поликарпик с короткоползучим корневищем. *Salicornia europaea* (Chenopodiaceae) – европейский бореальный вид; травянистый од-

нолетник с небольшим главным корнем и придаточными корнями [2].

Анализ микоризообразования. Растения выкапывали и гербаризировали с корневыми системами. Проба каждого вида растений – 2–15 особей. У каждой особи микоризную колонизацию определяли на 12–15 случайно отобранных фрагментах тонких корней двух последних порядков длиной 1 см. Корни мацерировали в КОН 1 ч, окрашивали анилиновым синим и делали давленные препараты [7]. В каждом фрагменте в 5 полях зрения микроскопически (Leica DM 5000; $\times 100$) регистрировали структуры грибов АМ – гифы, арбускулы и везикулы. Характеристики развития АМ: встречаемость АМ – доля полей зрения с любыми грибными структурами; встречаемость везикул и арбускул – доли полей зрения с соответствующими структурами. Одновременно на этих же фрагментах корней определяли встречаемость корневых волосков как долю полей зрения с ними.

Анализ данных. Для оценки значимости различий характеристик развития микоризы и корневых волосков в разных зонах литорали использовали двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) в вариантах с оценкой и без оценки взаимодействия факторов. Признаки, выраженные в долях, использовали после арксинус-преобразования. Учетная единица – значения признака у особи.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Микориза у разных видов растений. В табл. 1 приведен список типичных и/или доминантных видов растений Беломорского побе-

режья (список составлен на основе описаний в [8]). Общее проективное покрытие растений на побережье сильно варьирует: в приливно-отливной зоне – от 0 до 50 % на площадке 1 м², на томболо – от 10 до 80 %. Данные по микоризному статусу растений, представленные в литературе, приведены для сравнения. Они характеризуют микоризный статус этих видов в других регионах.

Среди обычных для литорали растений преобладают виды, факультативно способные к формированию АМ. В этой группе есть виды из семейств, которые обычно рассматриваются как включающие преимущественно немикоризные или слабомикоризные растения (Chenopodiaceae, Juncaceae и Juncaginaceae), и представители Poaceae, активно формирующие АМ. По литературным данным, к факультативно микоризным отнесен, в частности, *Triglochin maritima*, создающий наибольшее проективное покрытие в приливно-отливной зоне. Нами у *Triglochin maritima* микоризы не найдено, но в сводке о микоризах растений Британии [16] он указан как способный к формированию АМ. Также не образует микоризы, по нашим оценкам, *Salicornia europaea*.

Следующие по распространенности на литорали после *Triglochin maritima* – *Plantago maritima*, *Glaux maritima* и *Tripolium vulgare*, которые формируют АМ облигатно, как по литературным данным, так и по нашим оценкам. Мы не нашли ни одной особи без характерных АМ-структур в корнях: у всех особей наряду с гифами грибов АМ в корнях идентифицированы также арбускулы и везикулы.

Таблица 1
Микоризный статус (по литературным данным) и встречаемость АМ (по авторским данным) у видов растений прибрежных территорий

Вид	Проективное покрытие, %	Микоризный статус			Встречаемость АМ
		по [26]	по [11]	сводный	
<i>Triglochin maritima</i> L.	0–50	noM-AM	noM	noM-AM	0,00
* <i>Triglochin maritima</i> L.	10–40				0,00
<i>Plantago maritima</i> L.	0–40	AM	AM	AM	0,73–1,00
<i>Glaux maritima</i> L.	0–20	AM	AM	AM	0,08–1,00
<i>Juncus atrofuscus</i> Rupr.	0–15	noM-AM	noM	noM-AM	–
<i>Tripolium vulgare</i> Nees	0–10	AM	AM	AM	0,89–0,95
<i>Atriplex nudicaulis</i> Boguslaw	0–5	–	–	–	–
<i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla	0–5	AM	AM	AM	–
<i>Carex subspathacea</i> Wormsk. ex Hornem	0–5	noM	–	noM	–
<i>Leymus arenarius</i> (L.) Hochst.	0–5	noM-AM	AM	noM-AM	–
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud	0–5	noM-AM	noM-AM	noM-AM	–
<i>Puccinellia maritima</i> (Huds.) Parl.	0–5	noM-AM	–	noM-AM	0,00–0,05
<i>Salicornia europaea</i> L.	0–5	noM-AM	noM	noM-AM	0,00
* <i>Salicornia europaea</i> L.	50–80				0,00

Примечания. noM – безмикоризные; noM-AM – факультативно арбускулярно-микоризные; AM – арбускулярно-микоризные; прочерк обозначает отсутствие данных; * – томболо.

Устойчиво безмикоризный вид среди типичных литоральных видов, по-видимому, лишь *Carex subspathacea*, что, возможно, связано с небольшим числом его предыдущих обследований. В отношении *Atriplex nudicaulis* опубликованных сведений о микоризности не обнаружено.

Микоризообразование в разных зонах литорали. Анализ успешности формирования микоризы в зависимости от продолжительности затопления выполнен на примере *Glaux maritima* и *Plantago maritima*, особи которых собраны на супралиторали и верхней литорали. Продолжительность затопления не оказывает значимого влияния на характеристики развития микоризы (табл. 2). Арбускулы, везикулы и гифы в корнях обоих видов с равной частотой встречаются на супралиторали и на верхней литорали.

Встречаемость корневых волосков в разных зонах литорали. С использованием двухфакторного ANOVA без оценки взаимодействия факторов установлено, что основной источник изменчивости для признака встречаемости корневых волосков – вид растения: $F_{\text{вид}} = 17,07$; $P < 0,0001$; $F_{\text{зона литорали}} = 3,45$; $P = 0,0730$. Однако вид графика (рисунок, а) позволяет сделать два предположения. Во-первых, межвидовая изменчивость развития волосков может быть связана

не собственно с видовыми особенностями растений, а с их микоризным статусом, поскольку у трех арбускулярно микоризных трав волосков в целом меньше, чем у двух немикоризных. Во-вторых, у трех видов растений, которые исследованы в обеих зонах литорали, встречаемость корневых волосков выше на супралиторали.

Строгая проверка этих предположений выполнена с использованием двухфакторного ANOVA с оценкой взаимодействия факторов. При объединении видов в группы по признаку микоризности убедительно подтверждаются и заключение о более активном формировании корневых волосков у немикоризных растений по сравнению с микоризными, и заключение о более активном формировании корневых волосков на супралиторали по сравнению с верхней литоралью (рисунок, б): $F_{\text{микоризность}} = 56,06$; $P < 0,0001$; $F_{\text{зона литорали}} = 6,80$; $P = 0,0138$; $F_{\text{взаимодействие}} = 2,53$; $P = 0,1218$.

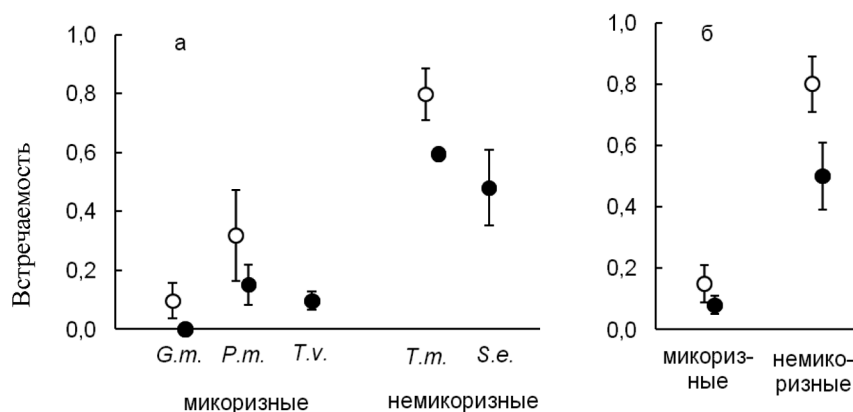
Основное заключение по итогам выполненного анализа можно сформулировать как вывод о значительной роли арбускулярно-микоризных трав и, следовательно, микоризных взаимодействий в формировании растительности литоральной зоны.

Облигатные АМ-растения из разных семейств (*Bolboschoenus maritimus*, *Glaux maritima*, *Plan-*

Результаты двухфакторного ANOVA изменчивости развития АМ и корневых волосков у *Plantago maritima* и *Glaux maritima*

Таблица 2

Встречаемость	Факторы					
	вид [1] ($dF = 1$)		зона литорали [2] ($dF = 1$)		[1]×[2] ($dF = 1$)	
	F	P	F	P	F	P
Структуры АМ						
Все	0,20	0,6633	0,30	0,5891	0,96	0,3384
Везикулы	0,37	0,5502	1,05	0,3179	19,50	0,0003
Арбускулы	2,47	0,1316	0,10	0,7588	0,01	0,9485
Корневые волоски	11,23	0,0032	4,16	0,0549	0,03	0,8545



Встречаемость корневых волосков (\pm SE) на супралиторали (○) и верхней литорали (●) у разных видов растений (а) и в группах микоризных и немикоризных растений (б). Обозначения видов: *G. m.* – *Glaux maritima*; *P. m.* – *Plantago maritima*; *T. v.* – *Tripolium vulgare*; *T. m.* – *Triglochin maritima*; *S. e.* – *Salicornia europaea*

tago maritima и *Tripolium vulgare*) разных жизненных форм (однолетние травы – *Tripolium vulgare*; многолетние травы – *Bolboschoenus maritimus*, *Glaux maritima*, *Plantago maritima*) представлены в литоральных группировках постоянно и с заметным обилием. При этом, по нашим оценкам, у части из них встречаемости структур грибов АМ в корнях довольно высоки, независимо от продолжительности затопления участков во время приливов. Значительная часть других обычных литоральных растений образуют микоризу факультативно, то есть потенциально способны вступать в АМ-взаимодействия.

Вывод о том, что арбускулярные микоризы образуются у многих видов растений литорали, удовлетворительно соотносится с опубликованными данными. Засоление субстратов не является препятствием для развития грибов АМ, и среди галофитов микоризные растения не редки [7], [13], [20], [21], [24]. Согласуются с литературными данными оценки количественного развития микоризы у некоторых видов: обильная микориза у *Plantago maritima* и *Glaux maritima* [13]; переменная степень колонизации АМ-грибами у *Puccinellia* sp. [19].

Из 13 возможных типов стратегий поглощения растениями питательных веществ [23] на побережье Белого моря отмечены растения с двумя или тремя: симбиоз с грибами арбускулярной микоризы, отсутствие симбиоза, взаимодействие промежуточного характера – факультативная микориза.

Такое сочетание стратегий типично для раннесукцессионных сообществ [22]. На начальных стадиях формирования травяных сообществ неспециализированные в отношении способа поглощения элементов минерального питания виды с факультативным микоризообразованием нередко преобладают [3], [4]. Однако о высокой представленности на литорали факультативно микоризных трав можно говорить, если опираться на литературные определения микоризного статуса растений. По нашим прямым оценкам, имеющим, правда, не исчерпывающий характер, факультативно-микоризные растения в сообществах береговой зоны Белого моря не доминируют. Напротив, есть основания обсуждать дифференциацию видов растений, часть из которых совсем не формирует микоризу, а другие образуют ее с высокой встречаемостью грибных структур. Интересно, что микоризные и немикоризные растения отличаются по встречаемости корневых волосков. Эти различия, возможно, являются следствием взаимно компенсирующего, альтернативного характера двух разных приспособлений для почвенного питания – микоризы и корневых волосков.

Представленные результаты свидетельствуют о перспективности изучения феноменологии и значения микоризы и шире – разных способов почвенного питания в литоральных растительных группировках и прибрежных сукцессиях.

* Работа выполнена при поддержке проекта Министерства науки и образования РФ, № 724 «Механизмы устойчивого функционирования биоты приливно-отливной зоны голарктических морей». Камеральный анализ материалов выполнен при частичной поддержке РФФИ (проект 16–54–00105).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетехтина А. А., Веселкин Д. В. Распространенность и интенсивность микоризообразования у травянистых растений Среднего Урала с разными типами экологических стратегий // Экология. 2011. № 3. С. 176–183.
2. Буданцев А. Л., Яковлев Г. П. Иллюстрированный определитель растений Ленинградской области. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 799 с.
3. Веселкин Д. В. Стабилизация соотношения между числом видов растений разного микоризного статуса – один из аттракторов прогрессивных сукцессий? // Известия Самарского НЦ РАН. 2012. Т. 14. № 1 (5). С. 206–209.
4. Веселкин Д. В. Участие растений разного микотрофного статуса в сукцессии при формировании «агростепи» // Экология. 2012. № 4. С. 270–275.
5. Веселкин Д. В., Коноплёнок М. А., Бетехтина А. А. Способы почвенного питания осок разных экологических стратегий // Экология. 2014. № 6. С. 477–484.
6. Веселкин Д. В., Лукина Н. В., Чибрик Т. С. Соотношение микоризных и немикоризных видов растений в первичных техногенных сукцессиях // Экология. 2015. № 5. С. 417–424.
7. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.
8. Сергиенко Л. А., Дьячкова Т. Ю., Андросова В. И., Фокусов А. В. Биоморфология и структура ценопопуляций *Triglochin maritima* L. (семейство Juncaginaceae) по градиенту заливания на побережьях Голарктических морей // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 13 (55). С. 30–34.
9. Смит С. Э., Рид Д. Дж. Микоризный симбиоз. Пер. с 3-го англ. издания. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 776 с.
10. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.
11. Akhmetzhanova A. A., Soudzilovskaia N. A., Onipchenko V. G., Cornwell W. K., Agafonov V. A., Selivanov I. A., Cornelissen J. H. A rediscovered treasure: mycorrhizal intensity database for 3000 vascular plant species across the former Soviet Union // Ecology. 2012. Vol. 93. № 3. P. 689.
12. Brundrett M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis // Plant and Soil. 2009. Vol. 320. № 1–2. P. 37–77.
13. Carvalho L. M., Correia P. H., Martins-Loucao A. Arbuscular mycorrhizal fungal propagules in a salt marsh // Mycorrhiza. 2001. Vol. 14. № 3. P. 165–170.

14. Cornelissen J. H. C., Aerts R., Cerabolini B., Werger M. J. A., Heijden van der M. G. A. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy // *Oecologia*. 2001. Vol. 129. № 4. P. 611–619.
15. Grime J. P., Hodson J. G., Hunt R. Comparative plant ecology: a functional approach to common British. London: Unwin Hyman, 1988. 742 p.
16. Harley J. L., Harley E. L. A check-list of mycorrhiza in the British flora // *New Phytologist*. 1987. Vol. 105. № S1. P. 1–102.
17. Heijden van der M. G. A., Cornelissen J. H. C. The critical role of plant-microbe interactions on biodiversity and ecosystem functioning: arbuscular mycorrhizal associations as an example // *Biodiversity and ecosystem functioning – synthesis and perspectives* / M. Loreau, S. Naeem, P. Inchausti (eds.). Oxford: University Press, 2002. P. 181–192.
18. Heijden van der M. G. A., Klironomos J. N., Ursic M. et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity // *Nature*. 1998. Vol. 396. P. 69–72.
19. Hildebrandt U., Janetta K., Ouziad F., Renne B., Nawrath K., Bothe H. Arbuscular mycorrhizal colonization of halophytes in Central European salt marshes // *Mycorrhiza*. 2001. Vol. 10. № 4. P. 175–183.
20. Khan A. G. The occurrence of mycorrhizas in halophytes, hydrophytes and xerophytes, of endogone spores in adjacent soils // *Journal of General Microbiology*. 1974. Vol. 81. № 1. P. 7–14.
21. Kim C. K., Weber D. J. Distribution of VA mycorrhiza on halophytes on inland sea playas // *Plant and Soil*. 1985. Vol. 83. № 2. P. 207–214.
22. Lambers H., Raven J. A., Shaver G. R., Smith S. E. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age // *Trends Ecology and Evolution*. 2008. Vol. 23. № 2. P. 95–103.
23. Perez-Harguindeguy N., Diaz S., Garnier E., Lavorel S., Poorter H., Jaureguiberry P., Bret-Harte M. S., Cornwell W. K., Craine J. M., Gurvich D. E., Urcelay C., Veneklaas E. J., Reich P. B., Poorter L., Wright I. J., Ray P., Enrico L., Pausas J. G., de Vos A. C., Buchmann N., Funes G., Quétier F., Hodgson J. G., Thompson K., Morgan H. D., ter Steege H., van der Heijden M. G. A., Sack L., Blonder B., Poschold P., Vaieretti M. V., Conti G., Staver A. C., Aquino S., Cornelissen J. H. C. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide // *Australian Journal of Botany*. 2013. Vol. 61. № 3. P. 167–234.
24. Pond E. C., Menge J. A., Jarrell W. M. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline sites // *Mycologia*. 1984. Vol. 76. № 1. P. 74–84.
25. Read D. J. Plant-microbe mutualisms and community structure // *Biodiversity and ecosystem function* / Eds.: E. D. Schulze et al. Berlin; Heidelberg, 1999. P. 181–209.
26. Wang B., Qiu Y. - L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants // *Mycorrhiza*. 2006. Vol. 16. № 5. P. 299–363.

Veselkin D. V., Institute of Plant Ecology and Animals URO RAS (Ekaterinburg, Russian Federation)

Markovskaya E. F., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Betekhtina A. A., Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Eltsin (Ekaterinburg, Russian Federation)

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

Sergienko L. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

MYCORRHIZAL FORMATION IN VASCULAR PLANTS OF THE WHITE SEA WESTERN COAST

The occurrence of hyphae, vesicles and arbuscules of the arbuscular fungi in the roots and root hairs of the dominant and co-dominant higher plants in the tidal zone of the western coast of the White Sea were investigated. *Glaux maritima*, *Plantago maritima*, *Tripolium vulgare* are characterized by the high frequency of arbuscular mycorrhiza. *Puccinellia maritima* is described as a type of species with low frequency of mycorrhiza. *Salicornia europaea*, *Triglochin maritima* are referred to the non-arbuscular types of species. The growth of these plants in different flooding zones has no evident effect on the formation of mycorrhiza. The root hairs develop more actively in the non-arbuscular mycorrhizal species growing in the littoral tidal zone.

Key words: vascular plants, mycorrhiza, coastal zone, salinity, the White Sea

REFERENCES

1. Betekhtina A. A., Veselkin D. V. Abundance and intensity of mycorrhiza development in grassy plants of Central Ural Mountains with different types of ecological strategy [Rasprostranennost' i intensivnost' mikorizoobrazovaniya u travyanistykh rasteniy Sreznego Urala s raznymi tipami ekologicheskikh strategiy]. *Ecologiya* [Russian Journal of Ecology]. 2011. № 3. P. 176–183.
2. Budantsev A. L., Yakovlev G. P. *Illyustrirovannyi opredelitel' rasteniy Leningradskoy oblasti* [Illustrated manual of plants of the Leningrad region]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2006. 799 p.
3. Veselkin D. V. Is stabilization of the ratio between the number of plants of different mycorrhizal status one of the attractors of progressive successions? [Stabilizatsiya sootnosheniya mezhdru chislom vidov rasteniy raznogo mikoriznogo statusa – odin iz attraktorov progressivnykh suksessiy?]. *Izvestiya Samarskogo NTs RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012. Vol. 14. № 1 (5). P. 206–209.
4. Veselkin D. V. Participation of plants of the different mycorrhizal status in succession on formation of “agrosteppe” [Uchastie rasteniy raznogo mikotrofnogo statusa v suksessii pri formirovanii “agrostepi”]. *Ecologiya* [Russian Journal of Ecology]. 2012. № 4. P. 270–275.
5. Veselkin D. V., Konoplevko M. A., Betekhtina A. A. Ways of soil food of sedge of different ecological strategy [Sposoby pochvennogo pitaniya osok raznykh ekologicheskikh strategiy]. *Ecologiya* [Russian Journal of Ecology]. 2014. № 6. P. 477–484.

6. Veselkin D. V., Lukina N. V., Chibrik T. C. Ratio of mycorrhizal and not mycorrhizal species of plants in primary technogenic successions [Sootnoshenie mikoriznykh i nemikoriznykh vidov rasteniy v pervichnykh tekhnogennykh sukses-siyakh]. *Ecologiya* [Russian Journal of Ecology]. 2015. № 5. P. 417–424.
7. Selivanov I. A. *Mikosymbiotrofizm kak forma konsortivnykh svyazey v rastitel'nom pokrove Sovetskogo Soyuz* [Mycosymbiotrophism as a form of consort connections in the vegetation cover of the Soviet Union]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 232 p.
8. Sergienko L. A., D'yachkova T. Yu., Androsova V. I., Fokusov A. V. Biomorphology and coenopopulations' structure of *Triglochin maritima* L. (family Juncaginaceae) along the tidal gradient on the Holarctic seas' coasts [Biomorfologiya i struktura tsenopopulyatsiy *Triglochin maritima* L. (semeystvo Juncaginaceae) po gradientu zalivaniya na poberezh'yakh Golarkticheskikh morey]. *Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya*. 2016. № 13 (55). P. 30–34.
9. Smit S. E., Rid D. Dzh. *Mikoriznyy simbioz* [Mycorrhizal symbiosis]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2012. 776 p.
10. Cherepanov S. K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopedel'nykh gosudarstv* [Vascular plants of Russia and adjacent states]. St. Petersburg, Mir i sem'ya Publ., 1995. 990 p.
11. Akhmetzhanova A. A., Soudzilovskaia N. A., Onipchenko V. G., Cornwell W. K., Agafonov V. A., Selivanov I. A., Cornelissen J. H. A rediscovered treasure: mycorrhizal intensity database for 3000 vascular plant species across the former Soviet Union // *Ecology*. 2012. Vol. 93. № 3. P. 689.
12. Brundrett M. C. Mycorrhizal associations and other means of nutrition of vascular plants: understanding the global diversity of host plants by resolving conflicting information and developing reliable means of diagnosis // *Plant and Soil*. 2009. Vol. 320. № 1–2. P. 37–77.
13. Carvalho L. M., Correia P. H., Martins-Loucao A. Arbuscular mycorrhizal fungal propagules in a salt marsh // *Mycorrhiza*. 2001. Vol. 14. № 3. P. 165–170.
14. Cornelissen J. H. C., Aerts R., Cerabolini B., Werger M. J. A., Heijden van der M. G. A. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy // *Oecologia*. 2001. Vol. 129. № 4. P. 611–619.
15. Grime J. P., Hodson J. G., Hunt R. *Comparative plant ecology: a functional approach to common British*. London: Unwin Hyman, 1988. 742 p.
16. Harley J. L., Harley E. L. A check-list of mycorrhiza in the British flora // *New Phytologist*. 1987. Vol. 105. № S1. P. 1–102.
17. Heijden van der M. G. A., Cornelissen J. H. C. The critical role of plant-microbe interactions on biodiversity and ecosystem functioning: arbuscular mycorrhizal associations as an example // *Biodiversity and ecosystem functioning – synthesis and perspectives* / M. Loreau, S. Naem, P. Inchausti (eds.). Oxford: University Press, 2002. P. 181–192.
18. Heijden van der M. G. A., Klironomos J. N., Ursic M. et al. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity // *Nature*. 1998. Vol. 396. P. 69–72.
19. Hildebrandt U., Janetta K., Ouziad F., Renne B., Nawrath K., Bothe H. Arbuscular mycorrhizal colonization of halophytes in Central European salt marshes // *Mycorrhiza*. 2001. Vol. 10. № 4. P. 175–183.
20. Khan A. G. The occurrence of mycorrhizas in halophytes, hydrophytes and xerophytes, of endogone spores in adjacent soils // *Journal of General Microbiology*. 1974. Vol. 81. № 1. P. 7–14.
21. Kim C. K., Weber D. J. Distribution of VA mycorrhiza on halophytes on inland sea playas // *Plant and Soil*. 1985. Vol. 83. № 2. P. 207–214.
22. Lambers H., Raven J. A., Shaver G. R., Smith S. E. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age // *Trends Ecology and Evolution*. 2008. Vol. 23. № 2. P. 95–103.
23. Perez-Harguindeguy N., Diaz S., Garnier E., Lavorel S., Poorter H., Jaureguiberry P., Bret-Harte M. S., Cornwell W. K., Craine J. M., Gurvich D. E., Urcelay C., Veneklaas E. J., Reich P. B., Poorter L., Wright I. J., Ray P., Enrico L., Pausas J. G., de Vos A. C., Buchmann N., Funes G., Quétier F., Hodgson J. G., Thompson K., Morgan H. D., ter Steege H., van der Heijden M. G. A., Sack L., Blonder B., Poschlod P., Vaieretti M. V., Conti G., Staver A. C., Aquino S., Cornelissen J. H. C. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide // *Australian Journal of Botany*. 2013. Vol. 61. № 3. P. 167–234.
24. Pond E. C., Menge J. A., Jarrell W. M. Improved growth of tomato in salinized soil by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi collected from saline sites // *Mycologia*. 1984. Vol. 76. № 1. P. 74–84.
25. Read D. J. Plant-microbe mutualisms and community structure // *Biodiversity and ecosystem function* / Eds.: E. D. Schulze et al. Berlin; Heidelberg, 1999. P. 181–209.
26. Wang B., Qiu Y. - L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants // *Mycorrhiza*. 2006. Vol. 16. № 5. P. 299–363.

Поступила в редакцию 01.07.2016

УДК 581.5:581.1

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

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

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

ГАЛИНА ГРИГОРЬЕВНА БОРИСОВА
доктор географических наук, профессор кафедры физиологии и биохимии растений Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)
borisova59@mail.ru

ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА ОКОРОКОВА
магистрант кафедры экологии Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)
nady_dicusar@mail.ru

POTENTILLA BIFURCA L. НА ЗОЛОТВАЛАХ УРАЛА В РАЗНЫХ ЗОНАЛЬНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ*

Целью работы было изучение пространственной и возрастной структур, а также морфофизиологических параметров и показателей микотрофности ценопопуляций *Potentilla bifurca* L. (сем. Rosaceae Juss.), произрастающих на рекультивированных золоотвалах Урала: Южноуральской (ЮУГРЭС, лесостепная зона) и Верхнетагильской (ВТГРЭС, таежная зона) государственных районных электростанций. *Potentilla bifurca* – хамефит, ксеромезофит, засухоустойчивый вид, растет в степных районах на сухих открытых глинистых и каменистых склонах. В лесной зоне встречается редко, для Среднего Урала является заносным (адвентивным) видом. Показано, что ценопопуляции *Potentilla bifurca*, произрастающие на рекультивированных золоотвалах, характеризуются высокой плотностью особей, являются нормальными неполночленными, с преобладанием прегенеративных возрастных состояний. Поддержание популяций происходит преимущественно вегетативным путем. Проведен анализ структурно-функциональных параметров листа (толщина листа, число клеток и число хлоропластов на единицу площади, индексы общей ассимилирующей поверхности клеток и хлоропластов, содержание флавоноидов, азота и фосфора). Исследования структуры фотосинтетического аппарата листьев *Potentilla bifurca* показали, что растения с золоотвала ЮУГРЭС отличаются от растений с золоотвала ВТГРЭС достоверно большими размерами толщины листовой пластинки, вызванными увеличением размеров клеток палисадного мезофилла. Отмечено значительное (на 33 %) увеличение числа клеток палисадной паренхимы в единице площади листа у растений на золоотвале ЮУГРЭС по сравнению с ВТГРЭС. Показано, что количество флавоноидов, содержание общего азота и общего фосфора в листьях *Potentilla bifurca* было достоверно выше в лесостепной зоне. В корнях *Potentilla bifurca* обнаружена арбускулярная микориза, представленная гифами, везикулами и единичными арбускулами, показатели микоризы выше в таежной зоне. На биометрические параметры особей, морфофизиологические параметры и показатели микоризы оказывали влияние зонально-климатические условия, связанные в основном с количеством осадков и инсоляцией.

Ключевые слова: *Potentilla bifurca* L., золоотвалы, популяция, мезоструктура фотосинтетического аппарата, флавоноиды, микориза

ВВЕДЕНИЕ

Техногенные ландшафты, возникающие в результате интенсивного и разнообразного воздействия на природные ландшафты, из-за низкой биологической продуктивности и специфических биофизических и биохимических свойств образуют своеобразные провалы и барьеры на путях планетарной миграции веществ и энергии. Они искажают нормальный ход всех фундаментальных процессов, протекающих в биосфере, в том числе биологический круговорот азота, газовый режим атмосферы, снижают их интенсивность [19]. В промышленно развитых районах Земли наблюдается рост территорий, подвергающихся антропогенной и техногенной трансформации, что влечет за собой уменьшение экологического и фитоценотического разнообразия видов растений, приводит к упрощению структуры сообществ, понижению их продуктивности, синантропизации растительного мира. Во флоре нарушенных территорий зачастую появляются неаборигенные виды растений. Занос антропогенных видов в разные регионы и их дальнейшая натурализация способствуют перестройке естественного хода флорогенеза. Формирование адвентивных фракций флор различных регионов приводит к сближению флор, развивающихся в разных природно-климатических условиях [16].

Полнота знаний о способах адаптации растений к условиям промышленных отвалов может быть достигнута при сочетании исследований на разных уровнях организации биосистемы – субклеточном, клеточном, организменном, популяционном и биоценотическом.

В связи с этим целью данной работы было изучение пространственной и возрастной структур ценопопуляций *Potentilla bifurca* L., произрастающих на золоотвалах Урала в разных зонально-климатических условиях (таежная и лесостепная зоны), а также морфофизиологических особенностей листьев и показателей микотрофности данного вида.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Potentilla bifurca L. (лапчатка двувильчатая) – многолетний невысокий длиннокорневищный полукустарничек высотой до 25–30 см с деревянистыми подземными стеблями из семейства Rosaceae Juss. Листья непарноперистые, цельнокрайние, на верхушке часто двунадрезные, покрытые рыхло прилегающими или почти прижатыми волосками. Данный вид распространен в черноземных областях Средней России, преимущественно в юго-восточных и южных районах европейской части и в Сибири. Севернее изредка заносится по нарушенным местам, часто по насыпям железных дорог [6], [12].

Potentilla bifurca – хамефит, ксеромезофит, засухоустойчивый вид. Растет в степных районах на сухих открытых глинистых и каменис-

тых склонах, по залежам, по железнодорожным насыпям, по обочинам дорог [12]. В лесной зоне встречается редко, для Среднего Урала является заносным (адвентивным) видом [7].

Potentilla bifurca является перспективной в лекарственном отношении (содержит дубильные вещества, флавоноиды, фенольные соединения и др.) [18].

Исследования проводили в начале июля 2013 года на золоотвалах Южноуральской государственной районной электростанции (ЮУГРЭС – 54°56'30" с. ш.; 61°15'12" в. д.; площадь 68 га) и Верхнетагильской государственной районной электростанции (ВТГРЭС – 57°23'00" с. ш.; 59°56'00" в. д.; площадь 125 га), расположенных соответственно в лесостепной и таежной (подзона южной тайги) зонах. Возраст золоотвалов примерно одинаков, подача пульпы прекращена в начале 60-х годов XX века. В 1964–1966 годах проведена рекультивация золоотвала ЮУГРЭС с покрытием всей поверхности слоем черноземной почвы и посевом многолетних трав. Биологическая рекультивация на части золоотвала ВТГРЭС была начата в 1968–1970 годах и продолжалась в последующие годы. Применялось нанесение слоя глинистого грунта толщиной 10–15 см полосами 7–10 м с таким же межполосным пространством.

Зола каменных и бурых углей, складываемая в золоотвалы, является специфическим субстратом, обладающим рядом особенностей. По механическому составу зола представлена фракциями песка и пыли с большой примесью измельченного шлака. Для золы характерна низкая влажность, слабая теплопроводность, щелочная реакция среды, следовые количества или полное отсутствие азота, недостаточное содержание калия и в некоторых случаях недостаточное содержание фосфора в доступной для растений форме (табл. 1).

Сбор фактического материала проведен по общепринятым методикам. Обследование проводили детально-маршрутным методом. Для изучения горизонтальной и возрастной структур ценопопуляций (ЦП) *Potentilla bifurca* в исследуемых растительных сообществах случайным образом закладывали учетные площадки (0,25 м²): на золоотвале ЮУГРЭС – 37 шт., на золоотвале ВТГРЭС – 32 шт. Счетными единицами при исследовании ЦП *Potentilla bifurca* являлись особи вегетативного происхождения – раметы. На данных площадках определяли плотность особей. Далее особи *Potentilla bifurca* с площадок выкапывали, высушивали в лабораторных условиях до воздушно-сухого состояния, разбирали по возрастным группам [2] и взвешивали на весах Sartorius с точностью до 0,01 г.

Для морфологического анализа вегетативных и генеративных особей каждого возрастного состояния на золоотвале ВТГРЭС было взято 278

Таблица 1

Химический состав зольного субстрата [20]

Золоотвал	Валовое содержание основных элементов (% на прокаленную навеску)						N, %	Содержание подвижных форм элементов, мг/100 г золы		pH по KCl
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		P ₂ O ₅	K ₂ O	
ЮУГРЭС	58,3	31,4	7,2	2	0,3	0,7	0,08	2,7	1,6	8
ВТГРЭС	48,4	23,4	14,2	4,9	2,9	3,8	следы	23,5	7	8,5

особей *Potentilla bifurca*, из них 189 вегетативных и 89 генеративных, на золоотвале ЮУГРЭС – 650 особей, из них 608 вегетативных и 42 генеративных. Морфологический анализ вегетативных особей проведен по 6 признакам: высота особи, см; число листьев, шт.; число пар листочков в листьях, шт.; длина и ширина листа, см; масса растения, г. Анализ генеративных особей проводили по 11 признакам: высота особи, см; число генеративных и вегетативных побегов, шт.; высота генеративных и вегетативных побегов, см; число листьев, шт.; число пар листочков в листьях, шт.; длина и ширина листа, см; число цветков, шт.; масса растения, г.

Также были определены индексы возрастности ценопопуляций (Δ) [17], эффективности (ω) [3], восстановления (I_v) и замещения (I_z) [4].

Для исследования мезоструктурных характеристик фотосинтетического аппарата отбирали по 5–10 сформированных листьев с 10–15 генеративных особей данного вида из каждого местообитания.

Анализ показателей мезоструктуры листьев проводили на растительном материале, фиксированном в 3,5 % растворе глутарового альдегида в фосфатном буфере (pH = 7,0). Поперечные срезы листьев получали с использованием замораживающего микротома МЗ-2 (Россия). Определение количества клеток в единице площади листа проводили после мацерации тканей в 20 % растворе КОН при нагревании с помощью счетной камеры Горяева. Измерения толщины листа, размеров клеток мезофилла и хлоропластов проводили с помощью специализированного комплекса для анализа мезоструктуры листьев Simagis Mesoplant (ООО «СИАМС», Россия), используя световой микроскоп Meiji MT 4300L («Meiji Techno», Япония). Изучали следующие параметры: толщину листа, число клеток и число хлоропластов на единицу площади, объем клеток и объем хлоропластов, индексы общей ассимилирующей поверхности клеток (ИМК) и хлоропластов (ИМХ), индекс проективной поверхности хлоропластов (ИППХ) [22].

Содержание общего азота и фосфора в листьях *Potentilla bifurca* измеряли колориметрически после мокрого озоления растительного материала смесью кислот: H₂SO₄ и HClO₄. Определение общего азота проводили с помощью реактива Несслера, а общего фосфора – с молибдатом аммония в кислой среде. Содержание флавоноидов

в листьях определяли с использованием лимонно-борного реактива на спектрофотометре при длине волны 420 нм [14]. Экстракцию флавоноидов осуществляли 1 % раствором тритона X-100 в 96 % этаноле в течение 24 часов. Определение содержания азота, фосфора и флавоноидов проводили в трех биологических и трех аналитических повторностях.

Для изучения микоризы *Potentilla bifurca* во всех ценопопуляциях случайным образом отбирали по 30 особей. Для анализа у растений отделяли боковые корни 1–2-го порядка, так как более толстые корни гриба, как правило, не содержат. Обработку корней производили по методике И. А. Селиванова [15]. Препараты просматривали под микроскопом «МИКМЕД-5» при 120-кратном увеличении. В каждом поле зрения определяли обилие гриба. На основании просмотра 100 полей зрения высчитывали следующие средние показатели: частоту встречаемости микоризной инфекции (F, %), характеризующую соотношение между огрибненными и неогрибненными участками корня; степень микотрофности растений (D, баллы), отражающую обилие гриба; коэффициент интенсивности микоризной инфекции (С, %), оценивающий как распределение огрибненных участков в корне, так и обилие гриба в нем.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении формирования флоры и растительности золоотвалов ЮУГРЭС и ВТГРЭС были отмечены ценопопуляции *Potentilla bifurca* [8], [9]. На золоотвале ЮУГРЭС *Potentilla bifurca* (ЦП₁) впервые была зафиксирована в 1980 году в виде локуса на площади около 25 м² в злаково-разнотравном растительном сообществе с доминированием *Agropyron pectinatum* (Bieb.) Beauv., *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit., *Artemisia austriaca* Jacq., *Artemisia absinthium* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski (обилие, по Друде, – сор₃). К 2013 году на золоотвале ЮУГРЭС сформировалось разнотравно-злаковое растительное сообщество, представленное 59 видами с доминированием

Agropyron pectinatum (коэффициент встречаемости (КВ) данного вида составил 75,7 %, обилие – sol), *Potentilla argentea* L. (КВ – 67,6 %, sp–cop₁). ЦП₁ *Potentilla bifurca* состоит из пяти локусов общей площадью более 150 м² (КВ – 29,5 %, обилие – sp gr). Общее проективное покрытие (ОПП) участка растительностью в среднем составляет 30,1 %, изменяясь от 10 до 60 %.

На золоотвале ВТГРЭС *Potentilla bifurca* (ЦП₂) впервые была встречена в 1990 году в разнотравном луговом растительном сообществе, формирующемся в процессе самозарастания на рекультивированном участке с полосным нанесением грунта. Площадь локуса составляла около 1 м². К 2013 году ЦП₂ образовала два локуса общей площадью около 170 м². Видовой состав растительного сообщества представлен 54 видами, из них преобладают: *Pimpinella saxifraga* L. (КВ – 96,9 %, обилие – cop₁–cop₂), *Poa pratensis* L. (КВ – 84,4 %, cop₁–cop₂), *Plantago media* L. (КВ – 62,5, cop₁–cop₂). *Potentilla bifurca* произрастает преимущественно на полосах грунта, где ее КВ составляет 43,8 %, обилие sp gr–cop₁ (рис. 1). ОПП участка растительностью в среднем – 47 %, изменяется от 5 (на золе) до 95 % (на грунте).

Изучение пространственной структуры ЦП в условиях золоотвалов показало, что обе ЦП имеют групповой тип пространственного распределения. *Potentilla bifurca* распределена в пределах локусов неравномерно, плотность особей на золоотвале ВТГРЭС варьирует от 8 до 316 шт./м² (в среднем 87 особей/м²); на золоотвале ЮУГРЭС – от 52 до 776 (в среднем – 371 особей/м²). Высокая плотность особей *Potentilla bifurca* на золоотвалах объясняется рыхлостью субстрата, способствующей росту корневищ. В естественных местообитаниях на щебнистых и каменистых субстратах плотность особей данного вида значительно ниже [1].

Изучение возрастной структуры ЦП *Potentilla bifurca* выявило их гетерогенность. Согласно классификации Т. А. Работнова [13], ЦП явля-



Рис. 1. *Potentilla bifurca* L. на золоотвале ВТГРЭС

ются нормальными, неполночленными, не зависящими от заноса зачатков извне. Поддержание популяций происходит преимущественно вегетативным путем, что является характерным для данного вида [2]. Возрастной спектр ЦП₁ на золоотвале ЮУГРЭС двухвершинный с преобладанием особой ювенильного (24,6 %) и виргинильного (67,8 %) состояний, с отсутствием проростков, имматурных и старых генеративных особей (рис. 2). Возрастной спектр ЦП₂ на золоотвале ВТГРЭС трехвершинный с пиками в ювенильном (11,8 %), виргинильном (44 %) и субсенильном (16,3 %) состояниях, с отсутствием проростков, имматурных и сенильных особей.

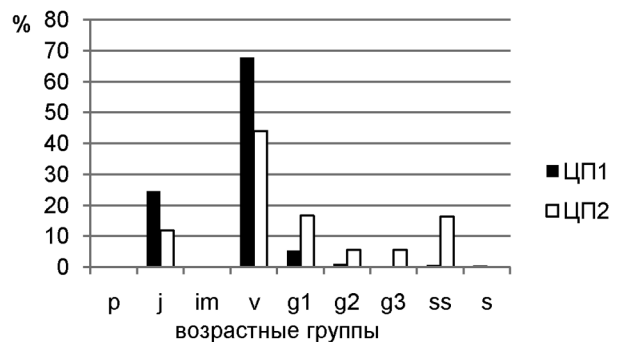


Рис. 2. Возрастные спектры ценопопуляций *Potentilla bifurca* на золоотвалах

Индекс возрастности (Δ) ЦП *Potentilla bifurca* на золоотвале ЮУГРЭС составил $\Delta = 0,12$, на золоотвале – ВТГРЭС $\Delta = 0,31$. Изученные ЦП представлены преимущественно молодыми особями, и влияние их на окружающую среду невелико.

Анализ индекса эффективности показал, что на золоотвалах ЮУГРЭС ($\omega = 0,3559$) и ВТГРЭС ($\omega = 0,4926$) ЦП *Potentilla bifurca* согласно критерию «дельта-омега» являются молодыми. В изученных ЦП индекс восстановления (I_v ЦП₁ = 14,31; I_v ЦП₂ = 2,01) выше индекса замещения (I_z ЦП₁ = 12,27; I_z ЦП₂ = 1,27), так как преобладают особи прегенеративного состояния.

При сравнении ЦП *Potentilla bifurca*, произрастающих на техногенных субстратах в разных зонально-климатических условиях, было выявлено, что на золоотвале ВТГРЭС (таежная зона) все изученные биометрические показатели (высота растений, длина и ширина листьев, воздушно-сухой вес) как у вегетативных, так и у генеративных особей выше, чем на золоотвале ЮУГРЭС (лесостепная зона) (табл. 2 и 3). Наиболее вариабельными признаками являются масса особей прегенеративных и генеративных состояний, а также количество цветков на особь. Было установлено, что на золоотвале ЮУГРЭС вес надземной воздушно-сухой фитомассы особей *Potentilla bifurca* в среднем составил 164,4 г/м², подземной – 188,3 г/м²; на золоотвале ВТГРЭС – 346,9 г/м² и 282,2 г/м² соответственно. Известно, что соотно-

шение надземной и подземной массы растения зависит от его индивидуальных особенностей и от условий среды: чем выше это соотношение, тем благоприятнее условия произрастания. На золоотвале ЮУГРЭС соотношение надземной и подземной фитомассы *Potentilla bifurca* составило 0,87, а на золоотвале ВТГРЭС – 1,23. Полученные результаты могут быть связаны как с лучшими условиями увлажнения в таежной зоне, так и с меньшей плотностью особей.

Анализ эколого-ценотических характеристик и онтоморфологических признаков *Potentilla bifurca* позволяет охарактеризовать популяционную стратегию данного вида как толерантно-реактивную [1]. Развитию данной стратегии способствуют длинные одревесневающие корневища с сохраняющимися в течение длительного времени жизнеспособными почками, позволяющие пережить антропогенную нагрузку и неблагоприятные свойства техногенных субстратов в разных зонально-климатических условиях.

Результатом многовекового обитания растений в различных климатических зонах явилось возникновение разнообразной флоры с разной морфологией и анатомией листьев, адаптированных к оптимальному в конкретных условиях обитания поглощению солнечной энергии и протеканию фотосинтеза. Адаптация растений к различным условиям произрастания накладывает

важный отпечаток на тип строения мезофилла листа [10].

Результаты исследований структуры фотосинтетического аппарата листьев *Potentilla bifurca* показали, что растения с золоотвала ЮУГРЭС (ЦП₁) в сравнении с особями с золоотвала ВТГРЭС (ЦП₂) отличались достоверно большими размерами толщины листовой пластинки, что, в свою очередь, связано с увеличением толщины слоя мезофилла (табл. 4). При этом отмечено значительное (на 33 %) увеличение количества клеток палисадной паренхимы в единице площади листа у растений в ЦП₁ по сравнению с ЦП₂. Статистически достоверные различия обнаружены также и в размерах клеток палисадного мезофилла: у растений в ЦП₂ объем и площадь поверхности клеток были в среднем в 1,2 раза меньше, чем соответствующие параметры у растений в ЦП₁. Размеры клеток губчатого мезофилла не имели достоверных различий.

Параметры пластид (площади поверхности, площади проекции и объемов хлоропластов) у особей *Potentilla bifurca*, произрастающих на исследованных техногенных объектах, не различались статистически. В среднем величина объема хлоропласта у растений из данных местобитаний составляла 25 мкм³. Расчет таких важных физиологических параметров, как ИМК и ИМХ, показал, что у растений с золоотвала ЮУГРЭС

Биометрические показатели прегенеративных особей *Potentilla bifurca* Таблица 2

Золоотвал	Показатели	Высота особи, см	Количество листьев, шт.	Длина листа, см	Ширина листа, см	Воздушно-сухая фитомасса особи, г
<i>Ювенильные особи (j)</i>						
ЮУГРЭС	N	160	160	160	160	160
	X _{ср} ± m	5,21 ± 0,12	2,58 ± 0,04	1,36 ± 0,03	0,95 ± 0,03	0,03 ± 0,01
	lim	1,7–12,1	1–4	0,5–2,5	0,2–2	0,01–0,1
	σ	1,53	0,55	0,41	0,35	0,02
	C _v	29	21	30	37	67
ВТГРЭС	N	32	32	32	32	32
	X _{ср} ± m	7,97 ± 0,52	2,53 ± 0,1	2,4 ± 0,17	1,41 ± 0,09	0,09 ± 0,01
	lim	3,5–15,7	1–3	0,9–5,5	0,5–2,6	0,01–0,27
	σ	2,97	0,57	0,99	0,53	0,06
	C _v	35	23	41	38	67
<i>Виргинильные особи (v)</i>						
ЮУГРЭС	N	441	441	439	439	441
	X _{ср} ± m	7,59 ± 0,12	6,74 ± 0,14	1,85 ± 0,02	1,34 ± 0,02	0,14 ± 0,01
	lim	3,4–17,2	2–21	0,2–3,5	0,2–2,8	0,01–1,1
	σ	2,56	2,91	0,52	0,45	0,11
	C _v	34	43	28	34	79
ВТГРЭС	N	135	135	135	135	135
	X _{ср} ± m	11,36 ± 0,39	5,15 ± 0,13	2,92 ± 0,09	1,60 ± 0,05	0,18 ± 0,01
	lim	4,1–29,0	4–10	0,9–6,1	0,4–3,1	0,02–0,63
	σ	4,59	1,51	1,03	0,54	0,13
	C _v	40	29	35	34	72

Примечание. Здесь и в табл. 3–5 признаки, имеющие достоверные отличия, выделены жирным шрифтом.

Таблица 3

Некоторые биометрические показатели генеративных особей *Potentilla bifurca*

Золоотвал	Показатели	Высота особи, см	Количество листьев, шт.	Длина листа, см	Ширина листа, см	Количество цветков, шт.	Воздушно-сухая фитомасса особи, г
<i>Молодые особи (g₁)</i>							
ЮУГРЭС	N	35	35	35	35	35	35
	X _{ср} ± m	14,33 ± 0,62	12,34 ± 0,72	2,29 ± 0,15	1,55 ± 0,09	4,6 ± 0,56	0,44 ± 0,03
	lim	6–23,5	5–25	1,3–6,1	0,7–3,8	1–14	0,12–0,89
	σ	3,66	4,26	0,88	0,54	3,32	0,19
	C _v	26	35	38	35	72	43
ВТГРЭС	N	18	18	18	18	18	18
	X _{ср} ± m	21,43 ± 1,26	17,06 ± 2,21	4,34 ± 0,15	2,23 ± 0,08	5,94 ± 1,15	1,07 ± 0,14
	lim	11,3–30	6–39	2,9–5,5	1,3–2,8	2–23	0,42–2,46
	σ	5,33	9,36	0,63	0,34	4,89	0,59
	C _v	25	55	15	15	82	55
<i>Зрелые особи (g₂)</i>							
ЮУГРЭС	N	7	7	7	7	7	7
	X _{ср} ± m	20,7 ± 1,18	16,43 ± 1,63	2,97 ± 0,24	1,93 ± 0,17	20 ± 2,02	1,16 ± 0,13
	lim	16,7–24,5	12–23	2,25–4,1	1,35–2,6	13–27	0,86–1,91
	σ	3,12	3,95	0,65	0,47	5,35	0,35
	C _v	16	24	22	24	27	30
ВТГРЭС	N	17	17	17	17	17	17
	X _{ср} ± m	26 ± 1,17	53,25 ± 12,14	3,83 ± 0,43	2,2 ± 0,19	33,75 ± 9,2	2,61 ± 0,39
	lim	22,5–27,4	25–83	2,96–4,7	1,7–2,54	17–59	1,83–3,58
	σ	2,34	24,28	0,87	0,38	18,39	0,78
	C _v	9	46	23	18	55	30

данные параметры в среднем на 35 % превышали соответствующие показатели у растений с золоотвала ВТГРЭС. Данные интегральные показатели отражают фотосинтетическую функцию, связанную со скоростью и эффективностью ассимиляции углекислого газа и положительно коррелируют со скоростью максимального фотосинтеза [10]. Растения из ЦП₁ отличались также достоверно высокими значениями ИППХ, являющегося аналогом листового индекса в фитоценозе (табл. 4).

Рост и развитие растений на зольных субстратах, как правило, лимитируется недостаточным количеством питательных элементов в доступной форме. Поэтому целесообразно было оценить содержание основных биогенных элементов (азота и фосфора) в листьях лапчатки, произрастающей на золоотвалах.

Азот является одним из основных макроэлементов для живых организмов, так как входит в состав важнейших органических веществ: нуклеотидов, белков, аминокислот, амидов, алкалоидов и других. Количество азота в составе сухого вещества растений обычно колеблется от 1 до 3 % [11].

Фосфаты служат структурными компонентами фитина, фосфатидов, нуклеотидов, фосфорных эфиров сахаров, ферментов. Фосфаты отвечают за энергетический обмен, а также

участвуют в регуляции активности ферментов. Содержание фосфора в растениях, как правило, составляет около 0,2 % на сухую массу [11].

Как показали наши исследования, содержание общего азота и общего фосфора в листьях *Potentilla bifurca*, произрастающей на рекультивированных участках золоотвалов, было достаточно высоким (табл. 5). Для растений из лесостепной зоны (ЦП₁) было характерно более высокое содержание как азота, так и фосфора. Однако различия между растениями, произрастающими в разных зонально-климатических условиях, по количеству этих биогенных элементов были невелики, хотя и достоверны.

Характерной ответной реакцией высших растений на действие абиотических стрессоров является накопление флавоноидов. Анализ содержания флавоноидов в листьях *Potentilla bifurca* показал, что для растений из таежной зоны этот показатель был вдвое ниже, чем у растений из лесостепной зоны (табл. 5). Вероятно, в условиях золоотвала ЮУГРЭС увеличение количества флавоноидов в листьях связано с более высокой инсоляцией в лесостепной зоне. Это подтверждается имеющимися в литературе данными, указывающими на активацию светом ряда ферментов, принимающих участие в биосинтезе фенольных соединений [5].

Таблица 4

Параметры мезоструктуры листьев *Potentilla bifurca*

Параметры	Золоотвал		
	ЮУГРЭС	ВТГРЭС	
Толщина листа, мкм	X _{ср} ± m	203,8 ± 6,8	155,2 ± 8,2
	lim	170,0–260,0	119,0–200,2
Толщина мезофилла, мкм	X _{ср} ± m	153,9 ± 5,7	109,4 ± 8,9
	lim	130,0–206,0	72,0–170,5
Толщина эпидермиса, мкм	X _{ср} ± m	49,9 ± 3,6	45,8 ± 3,0
	lim	30,0–70,0	30,0–66,0
Число клеток мезофилла, тыс./см ²	X _{ср} ± m	1202,4 ± 40,9	956,5 ± 33,7
	lim	848,6–1549,7	730,2–1359,3
Число хлоропластов, млн./см ²	X _{ср} ± m	24,4 ± 3,8	18,5 ± 2,9
	lim	17,7–31,3	14,3–26,0
Площадь проекции клеток палисада, мкм ²	X _{ср} ± m	396,4 ± 93,5	312,0 ± 414,7
	lim	239,9–627,4	211,0–450,8
Объем клеток палисада, мкм ³	X _{ср} ± m	4073,7 ± 266,2	3460,4 ± 197,0
	lim	1662,8–7881,1	1828,0–5650,6
Объем хлоропласта, мкм ³	X _{ср} ± m	26,4 ± 6,1	25,5 ± 5,4
	lim	41,1–73,3	40,1–79,8
Индекс общей ассимилирующей поверхности клеток (ИМК), см ² /см ²	X _{ср} ± m	10,5 ± 1,6	14,5 ± 2,2
	lim	8,0–14,9	10,3–18,8
Индекс общей ассимилирующей поверхности хлоропластов (ИМХ), см ² /см ³	X _{ср} ± m	7,7 ± 1,1	10,4 ± 1,6
	lim	5,9–10,8	7,5–13,4
Индекс проективной поверхности хлоропластов (ИППХ), см ² /см ²	X _{ср} ± m	1,9 ± 0,3	2,7 ± 0,4
	lim	1,5–2,7	1,9–3,4

Таблица 5

Содержание общего азота, общего фосфора и флавоноидов в листьях *Potentilla bifurca*

Золоотвал	Общий азот, % от сухой массы	Общий фосфор, % от сухой массы	Флавоноиды, мкг/г сухой массы
ЮУГРЭС	2,800 ± 0,011	0,280 ± 0,002	14,4 ± 3,0
ВТГРЭС	2,720 ± 0,012	0,240 ± 0,003	7,8 ± 0,5

В настоящее время многочисленными исследованиями установлена тесная взаимосвязь микоризообразующих грибов и растений. Известно, что микоризообразующие грибы, вступая в симбиоз с растениями, увеличивают адсорбционную поверхность корня, участвуют в поглощении питательных веществ из почвы, главным образом фосфора, улучшают снабжение водой, повышают адаптационную способность организмов, дают им преимущества в приспособлении к условиям окружающей среды [15], [21], [23].

Изучение микоризы *Potentilla bifurca*, произрастающей на золоотвалах в разных зонально-климатических условиях, показало, что в корнях растений имеется арбускулярная микориза, представленная гифами, везикулами и единичными арбускулами. Установлено, что на объек-

тах присутствуют слабомикотрофные и среднемикотрофные особи. На золоотвале ВТГРЭС у *Potentilla bifurca* более высокие показатели микотрофности (F = 83,0 %, D = 1,64 балла; C = 32,7 %), чем на золоотвале ЮУГРЭС (F = 67,0 %, D = 0,98 балла; C = 19,6 %).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный сравнительный анализ биометрических и морфофизиологических показателей выявил широкий спектр адаптивных реакций ценопопуляций *Potentilla bifurca* L. к техногенным субстратам в разных зонально-климатических условиях. На золоотвале в таежной зоне, по сравнению с лесостепной зоной, наблюдалось увеличение биометрических параметров особей. Увеличение размеров листа сопровождалось уменьшением числа клеток палисадного мезофилла в расчете на единицу площади и их размеров. Кроме того, влияние зонально-климатических факторов на активность физиологических процессов проявлялось в существенно более низком содержании флавоноидов в листьях *Potentilla bifurca* L. в таежной зоне. Обнаруженная в корнях *P. bifurca* арбускулярная микориза способствует адаптации растений к техногенным местообитаниям, бедным элемен-

тами минерального питания. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что исследуемый вид характеризуется достаточно

высокой пластичностью морфофизиологических признаков, позволяющих ему произрастать в специфических техногенных условиях.

*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания УрФУ № 2014/236, код проекта 2485.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басаргин Е. А. Биоморфология некоторых длиннокорневищных видов растений и структура их ценопопуляций на юге Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2010. 16 с.
2. Басаргин Е. А., Годин В. Н. Онтогенез лапчатки двувильчатой (*Potentilla bifurca* L.) // Онтогенетический атлас лекарственных растений. Т. IV. Йошкар-Ола: МарГУ, 2004. С. 174–177.
3. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
4. Жукова Л. А., Полянская Т. А. О некоторых подходах к прогнозированию перспектив развития ценопопуляций растений // Вестник ТвГУ. 2013. Вып. 32. № 31. С. 160–171.
5. Запругин М. Н. Фенольные соединения и их роль в жизни растения: 56-е Тимирязевское чтение. М.: Наука, 1996. 45 с.
6. Иллюстрированный определитель растений Средней России / И. А. Губанов, К. В. Киселёва, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. Т. 2: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). М.: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. 665 с.
7. Куликов П. В. Конспект флоры Челябинской области (сосудистых растений). Екатеринбург; Миасс: Геотур, 2005. 537 с.
8. Лукина Н. В. Восстановление фитоценоза на золоотвалах в разных зонально-климатических условиях // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Международного совещания. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 267–277.
9. Лукина Н. В. Формирование фитоценозов на золоотвалах Южноуральской ГРЭС // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 4 (44). С. 62–69.
10. Мокроносов А. Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М.: Наука, 1981. 196 с.
11. Мусиенко Н. Н., Тернавский А. И. Корневое питание растений. Киев: Выща шк., 1989. 203 с.
12. Определитель растений Новосибирской области / И. М. Красноров, М. Н. Ломоносова, Д. Н. Шауло и др. Новосибирск: Наука. Сибирское предприятие РАН, 2000. 492 с.
13. Работнов Т. А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии // Проблемы ботаники. М.; Л.: Наука, 1950. Вып. 1. С. 465–483.
14. Рогожин В. В. Практикум по биологической химии. СПб: Лань, 2006. 256 с.
15. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М.: Наука, 1981. 232 с.
16. Тохтарь В. К., Грошенко С. А. Глобальные инвазии адвентивных видов растений: проблемы и перспективы исследований // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2008. № 7. Вып. 7. С. 50–54.
17. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляций как функция времени и энергетических волновых процессов // Науч. докл. высш. школы. Биол. науки. 1975. № 2. С. 7–34.
18. Чирикова Н. К., Мокрунова И. А. Химический анализ лекарственных растений Северо-Востока Якутии // Фундаментальные исследования. 2012. № 11. С. 1531–1533.
19. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале / А. К. Махнев, Т. С. Чибрик, М. Р. Трубина [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.
20. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2011. 268 с.
21. Grundrett M. C. Diversity and classification of mycorrhizal association // Biol. Rev. 2004. Vol. 79. P. 275–304.
22. Ivanova L. A., P'yankov V. I. Structural adaptation of the leaf mesophyll to shading // Russian J. Plant Physiol. 2002. Vol. 49. № 3. P. 419–431.
23. Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal symbiosis (Third Edition). N. Y.: Academic Press, 2008. 787 p.

Glazyrina M. A., Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

Lukina N. V., Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

Chukina N. V., Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

Borisova G. G., Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

Okorokova E. S., Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

POTENTILLA BIFURCA L. ON THE URALS' ASH DUMPS IN DIFFERENT ZONAL CLIMATIC CONDITIONS

The aim of this work was to study the spatial structure and age characteristics of the plot in focus. We also identified morphological and physiological parameters and mycotrophic indicators of *Potentilla bifurca* L. coenopopulations (the family of Rosaceae Juss.), which grows on the reclaimed Urals' ash dumps: Yuzhnouralskaya (YUGRES, forest-steppe zone) and Verkhnetagilskaya (VTGRES, taiga zone) state district power stations. *Potentilla bifurca* – hamephyte, kseromezophyte, and drought-resistant species grow in steppe areas on dry, open clay soils and stony slopes. The plant in focus is rather rare for the forest taiga zone; it is considered to be an adventitious type of species for the Middle Urals. It is shown that coenopopulations of *Potentilla bifurca*, growing on the reclaimed ash dumps, are characterized by high density, are normal, not complete, dominant in species of pregenerative age.

Maintenance of *Potentilla bifurca* population is conducted predominantly by vegetative means. The structural and functional leaf parameters (thickness, number of cells and the number of chloroplasts per unit area, the total index assimilating surface of cells and chloroplasts, flavonoids, nitrogen and phosphorus) were analyzed. Our research of *Potentilla bifurca* photosynthetic apparatus structure has shown that plants from YUUGRES ash dump differ from plants of VTGRES ash dump by the fairly large size of the leaf blades, and by their thickness caused by the larger size of the palisade mesophyll cells. A significant (33 %) increase in the number of palisade parenchyma cells per unit leaf area of plants on the YUUGRES ash dump was registered. The results were obtained in the process of comparison with the plants from VTGRES ash dump. It is shown that the amount of flavonoids, total nitrogen and total phosphorus in the leaves of *Potentilla bifurca* is significantly higher in the forest-steppe zone. The arbuscular mycorrhiza was found in the roots of *Potentilla bifurca*. It was presented by hyphae, vesicles and single arbuscular mycorrhiza. Mycorrhizal indexes were higher in the taiga zone. The zonal climatic conditions, related mainly to the amount of precipitation and insolation, influenced *Potentilla bifurca* biometric, morphological and physiological parameters and indicators of mycorrhizae.

Key words: *Potentilla bifurca* L., ash dumps, population, mesostructure of the photosynthetic apparatus, flavonoids, mycorrhiza

REFERENCES

1. Basargin E. A. *Biomorfologiya nekotorykh dlinnokornevishchnykh vidov rasteniy i struktura ikh tsenopopulyatsiy na yuge Sibiri: Aftoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Biomorphology of some long rhizome plants' species and the structure of their coenopopulations in southern Siberia. Author's abst. PhD. biol. sci. diss.]. Novosibirsk, 2010. 16 p.
2. Basargin E. A., Godin V. N. Ontogenez *Potentilla bifurca* L. [Ontogenez lapchatki dvuvil'chatoy (*Potentilla bifurca* L.)]. *Ontogeneticheskiy atlas lekarstvennykh rasteniy*. Vol. IV. Yoshkar-Ola, MarGU Publ., 2004. P. 174–177.
3. Zhivotovskiy L. A. Ontogenetic states, effective density, and classification of plant populations. *Russian Journal of Ecology*. 2001. Vol. 32. № 1. P. 1–5.
4. Zhukova L. A., Polyanskaya T. A. Some approaches to the prediction of development prospects of coenopopulations of plants [O nekotorykh podkhodakh k prognozirovaniyu perspektiv razvitiya tsenopopulyatsiy rasteniy]. *Vestnik TvGU*. 2013. Issue 32. № 31. P. 160–171.
5. Zaprometov M. N. *Fenol'nye soedineniya i ikh rol' v zhizni rasteniya: 56-e Timiryazevskoe chtenie* [Phenolic compounds and their role in plant life: 56th Timiryazev reading]. Moscow, Nauka Publ., 1996. 45 p.
6. *Ilyustrirovannyi opredelitel' rasteniy Sredney Rossii. T. 2: Pokrytosemennye (dvudol'nye: razdel'nolepnyye)* [Illustrated keys to plants of Middle Russia. Vol. 2: angiosperms (dicots: razdelnyansky)] / I. A. Gubanov, K. V. Kiseleva, V. S. Novikov, V. N. Tikhomirov. Moscow, T-vo nauchnykh izdaniy KMK, In-t tekhnologicheskikh issledovaniy Publ., 2003. 665 p.
7. Kulikov P. V. *Konspekt flory Chelyabinskoy oblasti (sosudistykh rasteniy)* [Synopsis of Chelyabinsk region flora (vascular plants)]. Ekaterinburg, Miass, Geotur Publ., 2005. 537 p.
8. Lukina N. V. The restoration of vegetation on ash dumps in different zonal-climatic conditions [Vosstanovlenie fitoraznoobraziya na zolootvalakh v raznykh zonal'no-klimaticheskikh usloviyakh]. *Materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya "Biologicheskaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel'"*. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2003. P. 267–277.
9. Lukina N. V. The phytocenoses formation on the Yuzhnouralsk power station ash dumps [Formirovanie fitotsenozov na zolootvalakh Yuzhnoural'skoy GRES]. *Aridnye ekosistemy*. 2010. Vol. 16. № 4 (44). P. 62–69.
10. Mokronosov A. T. *Ontogeneticheskiy aspekt fotosinteza* [Ontogenetic aspects of photosynthesis]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 196 p.
11. Musienko N. N., Ternavskiy A. I. *Kornevoe pitanie rasteniy* [The plants' rootnutrition]. Kiev, Vysha shk. Publ., 1989. 203 p.
12. *Opredelitel' rasteniy Novosibirskoy oblasti* [Keys to plants of Novosibirsk region] / I. M. Krasnoborov, M. N. Lomonosova, D. N. Shaulo i dr. Novosibirsk, Nauka. Sibirskoe predpriyatie RAN Publ., 2000. 492 p.
13. Rabortnov T. A. The study of the composition of the populations for the purposes of phytocenology [Voprosy izucheniya sostava populyatsiy dlya tseley fitotsenologii]. *Problemy botaniki*. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1950. Issue 1. P. 465–483.
14. Rogozhin V. V. *Praktikum po biologicheskoy khimii* [Workshop on biological chemistry]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2006. 256 p.
15. Selivanov I. A. *Mikosimbiotrofizm kak forma konsortivnykh svyazey v rastitel'nom pokrove Sovetskogo Soyuz* [Mycorrhiza as a form of links in the vegetation cover of the Soviet Union]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 232 p.
16. Tokhtar' V. K., Groshenko S. A. Global invasion of adventitious plants: problems and prospects [Global'nye invazii adventivnykh vidov rasteniy: problemy i perspektivy issledovaniy]. *Nauchnye vedomosti BelGU. Ser. Estestvennyye nauki*. 2008. № 7. Issue 7. P. 50–54.
17. Uranov A. A. The age range of cenopopulations as a function of time and energy wave processes [Vozrastnoy spektr fitotsenopopulyatsiy kak funktsiya vremeni i energeticheskikh volnovykh protsessov]. *Nauchye doklady vysshey shkoly. Biol. nauki* [Scient. reports of high school. Boil. sciences]. 1975. № 2. P. 7–34.
18. Chirikova N. K., Moyakunova I. A. Chemical analysis of medicinal plants of North-East Yakutia [Khimicheskiy analiz lekarstvennykh rasteniy North-Eastern Yakutia]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012. № 11. P. 1531–1533.
19. *Ekologicheskie osnovy i metody biologicheskoy rekul'tivatsii zolootvalov teplovykh elektrostantsiy na Urale* [The ecological bases and methods of biological recultivation of thermal power stations ash dumps in the Urals]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2002. 356 p.
20. *Ekologicheskie osnovy i opyt biologicheskoy rekul'tivatsii narushennykh promyshlennost'yu zemel'* [Ecological bases and experience of biological recultivation of disturbed industrial lands]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural'skogo un-ta, 2011. 268 p.
21. Brundrett M. C. Diversity and classification of mycorrhizal association // *Biol. Rev.* 2004. Vol. 79. P. 275–304.
22. Ivanova L. A., P'yankov V. I. Structural adaptation of the leaf mesophyll to shading // *Russian J. Plant Physiol.* 2002. Vol. 49. № 3. P. 419–431.
23. Smith S. E., Read D. J. *Mycorrhizal symbiosis (Third Edition)*. N. Y.: Academic Press, 2008. 787 p.

ИВАН ВАЛЕРЬЕВИЧ ЕВСТРАТОВ

аспирант кафедры агрономии, землеустройства и кадастров агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
ivevstratov@yandex.ru

ЛЮБОВЬ ПАВЛОВНА ЕВСТРАТОВА

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

**ОТБОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОРФОТИПОВ В КАРЕЛЬСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ
PHLEUM PRATENSE L. СОРТА ОЛОНЕЦКАЯ МЕСТНАЯ**

Представлена сравнительная оценка отобранных морфотипов *P. pratense* из карельской популяции сорта Олонецкая местная. Половое потомство от высокорослых и облиственных образцов тимopheевки луговой отличалось крайней неоднородностью морфометрических показателей. Вариабельность значений длины, числа стеблей и вегетативной массы одного растения составила от 9,0 до 53,3 %. Результативность индивидуального отбора наиболее показательна по длине стеблей. В отличие от материнских форм, у которых (с вероятностью 95 %) наиболее часто встречались морфотипы с длиной стебля 115,7...151,9 см, у их полового потомства – 125,7...180,3 см. По итогам изучения *P. pratense* выделены 330 перспективных морфотипов, которые при дальнейшем размножении можно использовать в составе злаково-бобовых многолетних травосмесей при формировании долгосрочных фитоценозов на региональном уровне.

Ключевые слова: тимopheевка луговая, индивидуальный отбор, морфотипы, половое потомство, морфометрические показатели, вариационный ряд

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей дальнейшего развития и укрепления кормовой базы животноводства является повышение урожайности многолетних агрофитоценозов. Для рационального использования растительных ресурсов перспективно расширять посевы многолетних трав с включением в состав травосмесей улучшенного злакового компонента. В условиях Карелии наряду с естественными популяциями тимopheевки луговой [1] заслуживает внимания сорт Олонецкая местная, который более 45 лет выращивают в сельскохозяйственных предприятиях республики. Отличительной особенностью местных сортов является высокая адаптивная способность к определенным условиям среды, неоднородность признаков и свойств растений. Сорт Олонецкая местная получен в локальных агроэкологических условиях Олонецкой равнины в результате длительного естественного отбора и простейших приемов искусственного отбора. Он высоко приспособлен к почвенно-климатическим условиям региона, состоит из различных биотипов, которые обеспечивают относительно стабильные урожаи зеленой массы по годам, но в то же время за счет разнообразия форм создают определенные трудности при интенсивных технологиях выращивания многолетних трав. Неоднородность популяции местного сорта тимopheевки луговой позволяет отобрать

ценные в хозяйственном отношении формы с высокими показателями зимостойкости, урожайности и качества кормовой массы, неполегающие, неосыпающиеся, устойчивые к болезням и вредителям и др., которые перспективны для дальнейшего размножения и включения в состав злаково-бобовых многолетних травосмесей при формировании долгосрочных фитоценозов на региональном уровне.

Цель настоящей работы – провести сравнительную оценку отобранных морфотипов *P. pratense* из карельской популяции сорта Олонецкая местная.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ввиду комплексного изучения районированных и перспективных сортов тимopheевки луговой в системе государственного сортоиспытания¹ предварительно были проанализированы результаты кормовой продуктивности сорта Олонецкая местная по данным Медвежьегорского государственного сортоиспытательного участка (ГСУ) филиала ФГБУ «Государственная комиссия РФ по испытанию и охране селекционных достижений по Республике Карелия и Мурманской области».

Проведение индивидуального отбора в карельской популяции сорта Олонецкая местная и анализ полученных результатов выполнили

в 2009 году. Учитывая, что высота травостоя часто является косвенным показателем урожайности, а облиственность – важной составляющей питательной ценности фитомассы², элитные образцы (1006 шт.) отбирали по длине и облиственности стебля среди одновидового посева местного сорта тимфеевки луговой на Крестовом поле Карельской государственной сельскохозяйственной опытной станции. Султаны с более развитых по фенотипу стеблей помещали в отдельные бумажные пакеты и обмолачивали в лабораторных условиях.

Последующие шестилетние исследования были продолжены на коллекционном участке кафедры агрономии, землеустройства и кадастров агротехнического факультета Петрозаводского государственного университета, расположенном в южной агроклиматической зоне Карелии.

Конкурсное сортоиспытание проводили на дерново-подзолистых супесчаных почвах с рН 5,8, содержанием гумуса 3,6 %, подвижных форм фосфора 28,1 мг/100 г и калия 22,3 мг/100 г.

Опыт по изучению полового потомства *P. pratense* был заложен на дерново-подзолистых, легко суглинистых по гранулометрическому составу почвах с глубиной пахотного горизонта 26...34 см. Агрохимический анализ почвенных проб показал, что по реакции почвенного раствора рН 6,0, содержанию гумуса 5,3 %, подвижных форм фосфора 25...27 мг/100 г, а калия 24...38 мг/100 г почвы высоко окультурены и благоприятны для роста многолетних злаковых трав.

В годы сортоизучения метеорологические условия отличались невыравненностью показателей, что отразилось на развитии и скорости роста тимфеевки луговой. Отрастание растений сорта Олонецкая местная зафиксировано 23.04...04.05, 1-й укос проводили 18.06...26.06, период вегетации составил 48...58 дней. В конкурсном сортоиспытании тимфеевки луговой норма высева семян 18 кг/га, площадь делянки 10 м². Опыт заложен в 4-кратной повторности.

В полевом опыте наиболее неблагоприятные условия для роста *P. pratense* складывались в течение периода вегетации 2014 года, который в основном характеризовался недостаточными показателями увлажнения и теплообеспеченности растений. В летние месяцы 2012 года комплекс метеорологических факторов, характеризующийся избыточным количеством осадков на фоне среднемесячных температур воздуха, приближающихся к среднемноголетним данным, был относительно благоприятен для роста и формирования фитомассы многолетних трав. В отдельные периоды сезона 2010, 2011, 2013, 2015 годов неравномерное увлажнение в сочетании с избыточной теплообеспеченностью вызвали неоднородное развитие тимфеевки луговой.

Для изучения полового потомства семени каждого отобранного образца высевали на отдельной

делянке размером 0,30 × 1,0 м. На посадку использовали наиболее развитые растения, которые согласно методике³ высаживали в питомнике отбора с одиночным размещением растений по схеме 0,45 × 0,45 м. Исходные образцы в зависимости от наличия семян были представлены 21...33 растениями. Учеты и измерения проводили начиная со второго года жизни *P. pratense* в фазу колошения – цветения растений (01.07...15.07). У полученного полового потомства изучали длину и число стеблей, вегетативную массу⁴. Для этих показателей устанавливали диапазон изменчивости признака, вычисляли средние величины $\bar{x} \pm S\bar{x}$ (где \bar{x} – среднее значение, $S\bar{x}$ – стандартная ошибка среднего) и коэффициент вариации V [2].

Сравнивали изменчивость показателей длины стеблей материнских растений и их полового потомства путем графического построения вариационных рядов. Алгоритм группировки опытных данных при большом числе наблюдений включал: определение границ варьирования, числа групп (k), расстояния между группами (i), установление границы классов и среднего значения групп, графическое построение вариационного ряда [2], [3].

Статистическую обработку данных, построение графиков проводили на персональном компьютере с использованием стандартного программного пакета Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным трехлетнего конкурсного испытания установлено, что условия полевого сезона отразились на кормовой продуктивности сорта Олонецкая местная. Максимальный сбор фитомассы за 1-й укос получен на третий год жизни *P. pratense*, однако наибольшая урожайность зеленой массы в пересчете на стандартную влажность (17 %) отмечена в первый год пользования трав (табл. 1). Несмотря на колебания метеорологических факторов по годам и благоприятный для тимфеевки луговой агрофон, длина стеблей растения не превышала 80 см.

Таблица 1

Результаты испытания тимфеевки луговой сорта Олонецкая местная (по данным Медвежьегорского ГСУ)

Показатель	Средние значения признаков растений по годам жизни		
	2-й	3-й	4-й
Длина стеблей, см	79	68	71
Урожайность зеленой массы, т/га	23,5 ± 0,24	29,0 ± 0,16	15,9 ± 0,14
Влажность зеленой массы, %	74,2	79,6	74,8
Средняя урожайность при стандартной влажности, т/га	6,1	5,9	3,3

Морфометрические показатели растений сорта Олонецкая местная

Таблица 2

Показатель	Единицы измерения	Диапазон изменчивости признака	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	V, %
Материнская форма				
Длина одного стебля	см	96...161	$133,8 \pm 0,29$	6,8
Число листьев на стебле	шт.	2...5	$3,0 \pm 0,02$	17,2
Половое потомство				
Длина стеблей одного растения	см	24...203	$152,9 \pm 0,33$	9,0
Число стеблей на растение	шт.	3...190	$44,3 \pm 0,51$	47,9
Вегетативная масса одного растения	г	30...1065	$254,9 \pm 3,28$	53,3

Примечание. \bar{x} – среднее значение, $S\bar{x}$ – стандартная ошибка среднего, V – коэффициент вариации.

Искусственный отбор образцов тимофеевки луговой с повышенными значениями длины генеративного стебля и облиственности у материнских форм обусловил соответствующие колебания показателей в пределах верхней нормы нормальной вариации (табл. 2). Из-за перекрестного опыления *P. pratense* вариабельность изученных признаков полового потомства была гораздо выше, достигая большой вариации по показателям числа стеблей и вегетативной массы одного растения. Результативность индивидуального отбора в популяции *P. pratense* наиболее очевидна при сравнении длины стеблей материнских форм и их полового потомства: у последнего средние значения линейных величин превысили исходные в 1,1 раза.

На рис. 1, 2 представлены особенности распределения линейных показателей роста расте-

ний с различным уровнем вероятности. Учитывая, что для биологических объектов наиболее часто используют 95 %-й уровень вероятности, у материнских форм наиболее часто встречались морфотипы с длиной стебля 115,7...151,9 см, а у их полового потомства – 125,7...180,3 см. По результатам комплексной оценки полового потомства *P. pratense* выделены 330 морфотипов, сочетающих наибольшие морфометрические показатели.

Таким образом, путем отбора из карельской популяции сорта Олонецкая местная высокорослых, многостебельных, с максимальной вегетативной массой растений выделены перспективные формы *P. pratense*, которые при дальнейшем размножении можно использовать в составе злаково-бобовых многолетних травосмесей для заготовки грубых и сочных кормов.

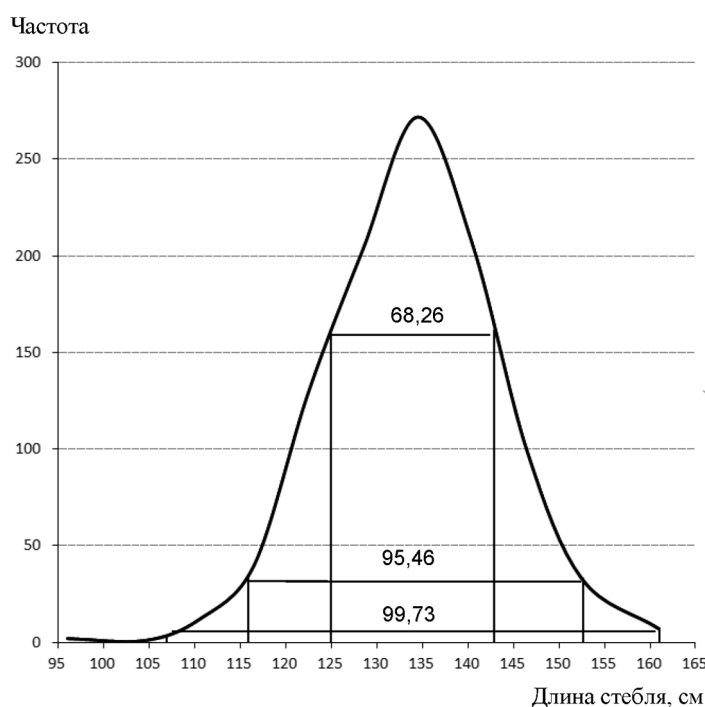


Рис. 1. Распределение показателей длины стебля материнских форм с различным уровнем вероятности

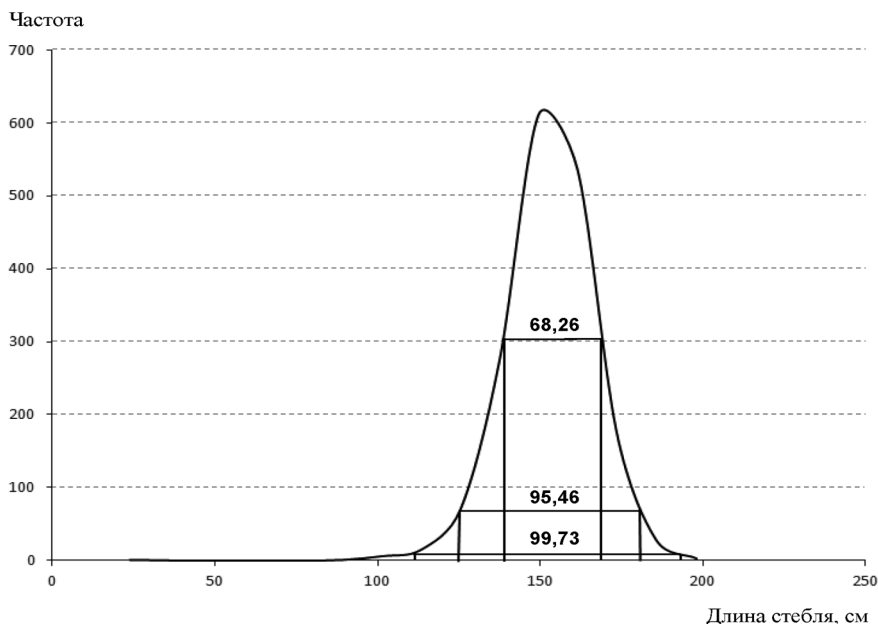


Рис. 2. Распределение показателей длины стеблей полового потомства с различным уровнем вероятности

ПРИМЕЧАНИЯ

- ¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: Колос, 1985. 276 с.
- ² Методические указания по селекции многолетних злаковых трав / Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т кормов им. В. Р. Вильямса; [В. М. Косолапов и др.]. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2012. 51 с.
- ³ Методические указания по проведению полевых работ с кормовыми культурами / Сост. Ю. К. Новоселов, В. Н. Киреев, Г. П. Кутузов. М.: РАСХН, 1997. 155 с.
- ⁴ Методические указания по селекции и первичному семеноводству многолетних трав. М.: Россельхозакадемия, 1993. 112 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винниченко Е. Ф. Биологические особенности кормовых дикорастущих трав в условиях культуры в Карелии // Вопросы луговодства и растениеводства в Карелии. Петрозаводск, 1957. С. 48–108 (Труды Карельского филиала Академии наук СССР. Вып. VI).
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агрпромиздат, 1985. 351 с.
3. Заイツев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 425 с.

Evstratov I. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Evstratova L. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

SELECTION OF PERSPECTIVE MORPHOTYPES FROM KARELIAN POPULATION OF LOCAL OLONETS BREED OF *PHLEUM PRATENSE* L.

A comparative assessment of selected morphotypes of *P. pratense* singled out from Karelian population of local Olonets breed is presented. The reproductive progeny from tall-growing and foliate samples of the cattail grass (*Phleum pratense*) is distinguished by the dissimilarity of morphometric indices. The variability of values in the length, stem number, and vegetative mass of the single plant ranged from 9,0% up to 53,3%. The stem length is the most significant factor responsible for the effectiveness of individual selection. Morphotypes with 115,7 to 151,9 cm in the stem length (with the probability of about 95 %) occurred rather frequently. Their reproductive progeny had the stem length of 125,7 to 180,3 cm. The study of *P. pratense* helped to select 330 perspective morphotypes. In case of their further multiplication they might be used in the long-term grasses and legumes' compositions to form longstanding phytocenosis on the regional level.

Key words: cattail grass (*Phleum pratense*), individual selection, morphotypes, reproductive progeny, morphometric indices, variational series

REFERENCES

1. Vinnichenko E. F. The biological peculiarities of feeding wild-growing grass in conditions of Karelian agriculture [Biologicheskie osobennosti kormovykh dikorastushchikh trav v usloviyakh kul'tury v Karelii]. *Voprosy lugovodstva i rastenievodstva v Karelii*. Petrozavodsk, 1957. P. 48–108.
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. Zaitsev G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 425 p.

Поступила в редакцию 21.06.2016

ОЛЬГА ВЛАДИМИРОВНА ЕРМОЛАЕВА

кандидат биологических наук, научный сотрудник сектора экофизиологии лаборатории физиологии растений, Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина РАН (Кировск, Российская Федерация)
olia.ermolik@yandex.ru

НАТАЛЬЯ ЮРЬЕВНА ШМАКОВА

доктор биологических наук, руководитель сектора экофизиологии лаборатории физиологии растений, Полярно-альпийский ботанический сад-институт имени Н. А. Аврорина РАН (Кировск, Российская Федерация)
shmanatalya@yandex.ru

РОСТ И НАКОПЛЕНИЕ МАССЫ *HYLOCOMIUM SPLENDENS* В ЛЕСНОМ ПОЯСЕ ХИБИН

Изучена динамика годового прироста (линейная и по массе) в течение вегетации у *Hylocomium splendens* в лесном поясе Хибин. Основная доля линейного прироста (80 %) формируется в летний период (с максимумом в середине июля). Осенью, при замедлении линейного роста, активно происходит нарастание массы текущего годового прироста. Проведено сравнение показателей роста в разных условиях произрастания. Наибольшие значения линейных и весовых показателей приростов характерны для местообитания в просветах крон деревьев. В среднем за 2013–2015 годы линейный прирост составил 18–28 мм, масса – 4–7 мг сухой массы. Рост *H. splendens* продолжается, по крайней мере, в течение 2 лет: формирование длины годового прироста происходит в основном в первый год жизни, а нарастание массы продолжается и в следующем году. Построена статистическая модель зависимости скорости линейного роста *H. splendens* в просветах крон деревьев от температуры воздуха и количества осадков.

Ключевые слова: *Hylocomium splendens*, линейный прирост, масса годового прироста, CO₂-газообмен, Хибины

ВВЕДЕНИЕ

Изучение роста мхов важно для оценки состояния экосистем, в которых бриофиты составляют значительную долю среди компонентов общей биомассы. В Хибинах *Hylocomium splendens* встречается в разных растительных поясах. В лесных сообществах является доминантом и содоминантом, а в ряде местообитаний представляет собой микрогруппировки с проективным покрытием 80–100 %. Это гигромезофит, довольно чувствительный к условиям обитания, и его часто используют в качестве индикатора на влияние факторов среды. Имеет четкие, визуально отличающиеся границы годовых приростов.

Формирование годичной продукции *H. splendens* и факторы, влияющие на этот процесс, оценены в разных географических районах: в полярном Севере [16], в Субарктике [11], в лесотундре и северной тайге Центральной Сибири [5], [6], лесоболотных комплексах Томской области [1], в темнохвойных насаждениях южной тайги юго-восточной части Западной Сибири [8], в различных типах леса Приангарья в Красноярском крае [3], в кедровых лесах Ямало-Ненецкого АО [2] и др.

Несмотря на значительное число исследований, данных для понимания особенностей ростовых процессов у *H. splendens* недостаточно. Результаты данного исследования являются продолжением работы, начатой в 2009 году [12].

Цель исследования – изучение особенностей роста и накопления массы мха в зависимости от местообитаний и метеоусловий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2013–2015 годах в редкостойном березово-еловом лесу (около 300 м над ур. м.) на территории Полярно-альпийского ботанического сада, Хибины (67°38' с. ш.). Природные условия этой территории подробно описаны [7].

Объект исследования – мох гилякомиум блестящий *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. (Hylocomiaceae), представитель бокоплодных мхов. Встречается на почве и разложившейся древесине. Образует рыхлые зеленые или желтовато-зеленые дерновинки. Стебель состоит из этажно-расположенных облиственных веточек, каждый этаж соответствует годичному побегу за год. Наблюдения и замеры проводили на годовых приростах, которые развивались посередине ответвленной части стебля предыдущего года.

Пробные площади были заложены в местообитаниях *H. splendens* с разным уровнем освещенности (освещенность в солнечный день/пасмурный день): ПП1 – в просветах крон деревьев (30/5 клк) и ПП2 – открытое местообитание (70/10 клк). В 2013 году измерения длины и массы годового побега были проведены в течение вегетации, в 2014–2015 годах – в конце вегетационного пери-

ода. За начало и конец вегетационного периода принимали время, когда наблюдали устойчивый переход температуры воздуха через +5 °С. Линейный прирост измеряли на маркированных особях (по 50–100 штук в куртинах каждого местообитания). Для определения массы прироста отбирали особи из аналогичных куртин, находящихся рядом. Периодичность измерений составляла от 5 до 15 суток. На дату измерения определяли длину (мм) и сухую массу прироста (мг), рассчитывали скорость роста побега (мм или мг в сутки) за период между измерениями. Интенсивность CO₂-газообмена годовых побегов определяли с помощью инфракрасного газоанализатора Гамма-100 (Россия). Контроль за температурой воздуха проводили измерительными комплексами (модель iBDLR-3-U-X). Количество осадков определяли с помощью осадкомеров.

Температурный режим и количество осадков за вегетационные периоды представлены в табл. 1. В целом 2013 год характеризовался ранним началом вегетационного периода (с 16 мая), относительно высокими и выровненными температурами весеннего и летнего периодов с минимальным количеством осадков. Отмечено высокое значение суммы эффективных (1516 °С) и активных температур (1271 °С) в сезоне. Вегетационный период 2014 года отличался холодной и длительной весной, жарким летом и холодной осенью. 2015 год был самым холодным, с аномально низкой температурой в июле и почти ежедневными осадками. Сумма активных температур (+10 °С и выше) за сезон оказалась очень низкой – всего 712 °С, что на 34 °С меньше многолетних данных для территории ПАБСИ [9].

Статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием универсальной программы STATISTICA 10.0.

Таблица 1

Среднемесячные показатели температуры воздуха и количества осадков за вегетационный период

Год	2013	2014	2015
Среднемесячная температура, °С			
VI	13,8	7,8	9,5
VII	14,7	16,6	10,5
VIII	13,4	13,0	11,6
IX	7,7	6,6	8,4
В среднем за вегетацию	12,4	11,0	10,0
Количество осадков, мм			
VI	23	20	97
VII	29	36	65
VIII	23	62	34
IX	11	29	61
Всего за вегетацию	86	147	257

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сезонная динамика длины и массы годовичного прироста

Накопление фитомассы и изменение длины прироста являются связанными показателями, но фитомасса – более информативный показатель продуктивности [15]. В зависимости от поставленной цели некоторые исследователи изучают лишь линейный прирост мхов [4], [10].

В 2013 году для *H. splendens* на ПП1 изучение сезонной динамики линейного годовичного прироста проведено одновременно с изменением его массы. В весенний и раннелетний период нарастание годовичного побега в длину идет более интенсивно, чем накопление массы (рис. 1). Несмотря на продолжительную весну в этом году, к началу летнего периода длина прироста составила 5,7 мм (скорость роста не превышала 0,2 мм/день) и была на 28 % меньше, чем в благоприятный по условиям сезон 2009 года, когда скорость роста составляла 0,3–0,35 мм/день. Для *H. splendens* высокая скорость роста была отмечена нами при следующем сочетании факторов: температура – 10–13 °С, осадки 2–4 мм в день [12]. В 2013 году повышенная температура воздуха (12–18 °С) и осадки меньше 2 мм в день (рис. 1С), вероятно, не позволили реализовать ростовые возможности. Наибольшая скорость роста отмечена во второй половине июля – 0,5 мм/день, что на 30–40 % ниже, чем в благоприятные по климатическим условиям годы. Увеличение массы прироста связано с началом его ветвления и наблюдается также с середины июля. В летний период скорость нарастания массы составила 0,06–0,08 мг/день. К концу летнего периода длина линейного прироста составляет уже 80 %, а масса всего 56 % от годовичной величины (27,7 мм и 6,7 мг, табл. 2). Осенью интенсивность удлинения снижается, но увеличивается масса прироста. При этом скорость нарастания массы была в 1,6 раза выше (0,13 мг/день), чем летом. Между длиной и массой приростов на ПП1 установлена высокая корреляционная связь ($r = 0,9$).

На основе регрессионного анализа материалов трехлетних наблюдений (2009, 2012–2013 годы, $n = 33$) была построена следующая статистическая модель зависимости скорости линейного роста (Y , мм/день) *H. splendens* на ПП1 от температуры воздуха (T , °С) и количества осадков (P , мм) за весь период вегетации:

$$Y = -0,501 + 0,098T - 0,003T^2 + 0,083P - 0,007P^2 + 0,001TP$$

$$(R = 0,636; R^2 = 40,4 \%; F(5, 27) = 3,66 > F_{0,05} = 2,56; p < 0,01),$$

где R – коэффициент множественной корреляции, R^2 – коэффициент множественной детерминации; F – расчетное значение критерия Фишера (в скобках после буквы F – число степеней свободы).

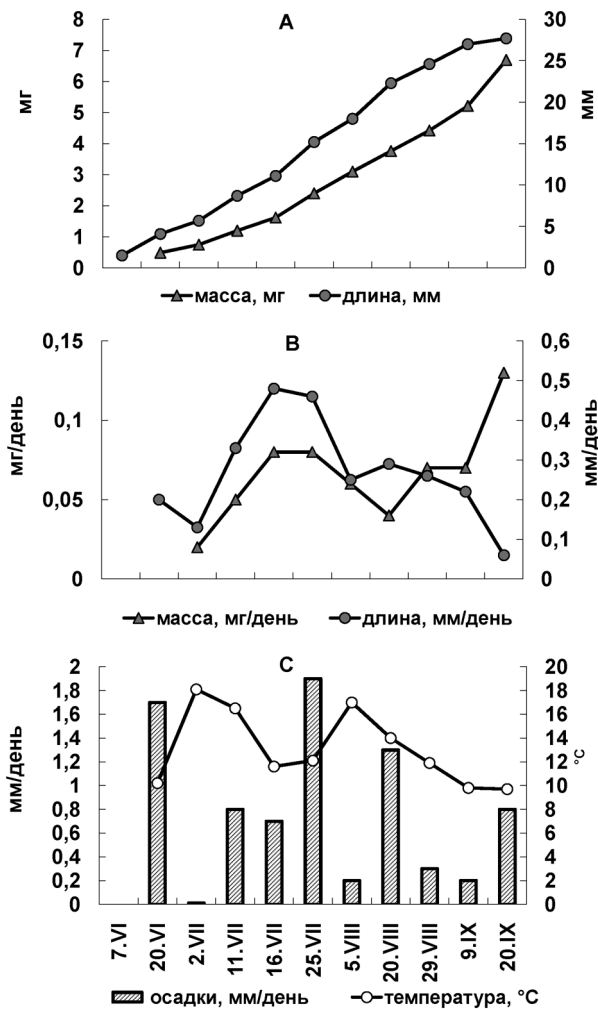


Рис. 1. Динамика роста (линейная и по массе) годичного прироста мха *Hylocomium splendens* в просветах крон деревьев в течение вегетации 2013 года (А); суточный прирост в периоды между измерениями (В); количество осадков и температура воздуха в периоды между измерениями (С)

Данное уравнение можно использовать для прогнозирования скорости роста *H. splendens* в длину в реальном диапазоне вариаций мете-

орологических факторов за период вегетации. Необходимо отметить, что характер связи роста *H. splendens* с метеоусловиями отличался в разные периоды вегетации. Летом корреляция между скоростью роста и температурой была теснее ($r = 0,50$; $p < 0,05$), чем с осадками ($r = 0,41$; $p < 0,05$). Осенью (на фоне пониженных температур воздуха) зависимость ростовых процессов *H. splendens* от температурного фактора усиливалась ($r = 0,76$; $p < 0,01$), а с осадками приобретала выраженную отрицательную направленность ($r = -0,44$; $p < 0,05$).

Годичный прирост в разных местообитаниях

Как видно из данных табл. 2, более высокие значения длины и массы приростов *H. splendens* характерны для местообитаний на ПП1, причем величины линейного прироста оказались одинаковыми при разной характеристике вегетационных сезонов, а различия отмечены только по массе. Колебания величин линейного прироста по годам наблюдений сильнее выражены на ПП2. Диапазон варьирования массы годичного прироста в годы наблюдений одинаков в обоих местообитаниях. Удельный вес прироста (нарастание массы относительно длины годичного прироста, М/Л) мало изменчив в разные годы наблюдений. Самый низкий годичный прирост отмечен в 2013–2014 годах на ПП2. В дождливый и холодный сезон вегетации (2015) различия в величине длины прироста в разных условиях обитания выражены менее, чем в жаркие и сухие годы.

В среднем за годы исследований (2013–2015) длина линейного прироста у *H. splendens* на ПП1 составила $27,2 \pm 1,7$ мм, масса – 6,9 мг, на ПП2 – меньше на 28 % и 38 % соответственно. Следует отметить, что длина годичного прироста на 20 % меньше, чем в благоприятные по климатическим факторам годы (2009, 2012), когда величина годичного прироста достигала 35 мм [12]. Недостаток осадков и высокие температуры летних периодов 2013–2014 годов привели к замедлению роста, не позволяя реализовать ростовой потенциал. В этих условиях наблюдали высушивание верхнего органогенного слоя почвы и развитие водного стресса у мхов, что особенно

Таблица 2

Длина и масса годичного прироста *Hylocomium splendens* в конце вегетационного периода в зависимости от местообитания

Год	ПП1				ПП2			
	n	L	M	M/L	n	L	M	M/L
2013	47	$27,7 \pm 0,7$	6,7	0,24	44	$18,2 \pm 0,5$	4,0	0,22
2014	65	$26,9 \pm 0,6$	7,4	0,28	174	$18,7 \pm 0,4$	4,4	0,24
2015	97	$27,0 \pm 0,7$	6,6	0,24	46	$22,2 \pm 0,8$	4,5	0,20
среднее		$27,2 \pm 1,7$	$6,9 \pm 0,3$	0,25		$19,7 \pm 1,3$	$4,3 \pm 0,3$	0,22

Примечание. L – длина годичного прироста (мм); M – масса годичного прироста (мг сухого веса); M/L – нарастание массы относительно длины (удельный вес прироста, мг/мм).

заметно у особей на открытых местообитаниях. В 2015 году при низких температурах и достаточном количестве осадков линейный годичный прирост также небольшой.

Представленные данные сравнимы с имеющимися сведениями по *H. splendens* в других районах и экосистемах России. Максимальный линейный годичный прирост имеет тенденцию к увеличению от лесотундры к северной тайге. Так, в кедровых лесах Ямало-Ненецкого района линейный прирост составил 14–21 мм, масса 7 мг [2]; в лесоболотных комплексах юга Западной Сибири годичный прирост – 19–26 мм, масса – 19–27 мг [1]; в различных типах леса Приангарья линейный прирост варьирует от 10 до 23 мм, масса – от 5 до 14 мг [3]; в разных лесорастительных зонах Сибири годичный прирост составляет 9–15 мм, масса – 4–11 мг [5].

Измерение длины и массы годичного прироста 2014 года в течение 2 лет жизни (рис. 2) показало, что в конце второго года жизни длина годичного прироста в обоих местообитаниях почти одинакова, различия видны только по массе. В варианте ПП1 масса годичного прироста в конце 2-го года жизни увеличилась на 37 %, ПП2 – на 46 %. Удельный вес прироста изменился на ПП1 от 0,28 до 0,40, на ПП2 от 0,24 до 0,38. Таким образом, удлинение годичного прироста происходит в первый год жизни, а нарастание массы продолжается в следующем году и увеличивается на 40–50 %, что указывает на рост *H. splendens*, по крайней мере, в течение 2 лет.

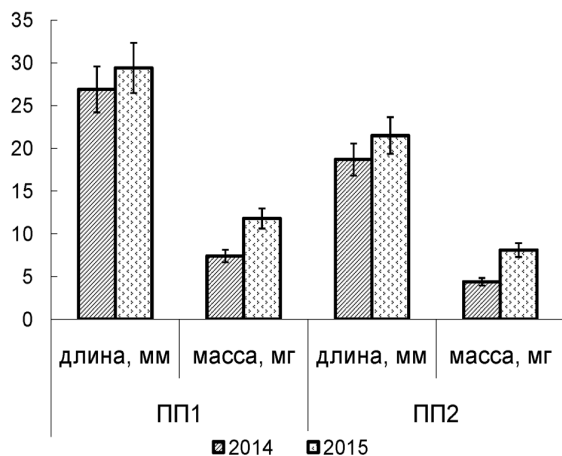


Рис. 2. Изменение длины и массы годичного прироста *Hylocomium splendens* (2014 – годичный прирост текущего года, 2015 – прирост 2-го года жизни)

Масса годичного прироста, нарастающая за год, определяется фотосинтетической продуктивностью. Интенсивность углекислотного газооб-

мена *H. splendens* измеряли в приростах текущего и второго года жизни в разных местообитаниях (табл. 3). Уровень газообмена в приростах текущего года несколько выше на ПП1 по сравнению с ПП2. В приростах второго года жизни уровень газообмена был ниже, но на ПП1 на 40 %, а на ПП2 на 20 %. Вероятно, этим можно объяснить большее изменение массы в течение второго года жизни на ПП2.

Таблица 3
Интенсивность фотосинтеза *Hylocomium splendens* (мг $\text{CO}_2/\text{г}_{\text{сух. в. ч}}$) в разных местообитаниях

Годичный прирост	ПП1	ПП2
Текущего года	5,00 ± 0,58	4,68 ± 0,49
Второго года жизни	3,05 ± 0,33	3,71 ± 0,41

Примечание. n = 16, содержание воды в побегах не менее 60 %.

Таким образом, формирование годичного прироста *H. splendens* продолжается, по крайней мере, в течение 2 лет. Рост годичного прироста в длину завершается в основном в первый год жизни, а формирование массы происходит в течение двух лет. Большая доля линейного прироста формируется в летний период, а его массы – в осенний. Полученные нами данные о разделении во времени линейного роста и накопления биомассы согласуются с результатами, полученными для таких видов, как *Brachythecium rutabulum*, *Thuidium tamariscinum* и *Lophocolea bidentata*, и не согласуются для *Plagiommium undulatum* и *Pseudoscleropodium purum* [14].

Более высокие значения показателей линейных размеров и массы приростов характерны для местообитаний на ПП1 – в более затененных условиях (просветах крон), что также согласуется с регуляторной ролью освещенности в линейном росте мха в работе [13], где в условиях низкой освещенности отмечалось значительное вытягивание растений.

Величина годичной продукции мхов зависит от количества осадков и температуры воздуха вегетационного периода. Условиями, ингибирующими рост мхов в летний период, являются относительно высокие температуры и небольшое количество осадков, особенно в условиях открытых местообитаний.

Сопоставимость полученных данных с аналогичными для других регионов с разными условиями вегетационных периодов свидетельствует о генетической детерминированности потенциальных значений функциональной ростовой активности *H. splendens* и возможности его реализации на большом градиенте условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончарова И. А., Беньков А. В. Динамика приростов зеленых мхов в лесоболотных комплексах юга Западной Сибири // Лесоведение. 2005. № 1. С. 43–51.

2. Гончарова И. А. Продуктивность *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) в кедровых лесах Ямало-Ненецкого автономного округа // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49. Вып. 2. С. 175–180.
3. Гончарова И. А., Собачкин Р. С. Годичные приросты и годичная продукция мхов *Helodium blandowii* (Thuidiaceae) и *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) в лесах Приангарья // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49. Вып. 4. С. 490–497.
4. Грабовик С. И. Динамика годичного прироста у некоторых видов *Sphagnum* L. в различных комплексах болот Южной Карелии // Растительные ресурсы. 2002. Т. 38. Вып. 4. С. 62–68.
5. Кнорре А. А., Ваганов Е. А. Особенности роста и годичная продукция *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) в северных экосистемах // Растительные ресурсы. 2005. Т. 41. Вып. 4. С. 12–21.
6. Кнорре А. А., Кирдянов А. В., Ваганов Е. А. Изменчивость годичной продукции наземной фитомассы основных доминантов высокоширотных сообществ Центральной Сибири // Растительные ресурсы. 2007. Т. 43. Вып. 1. С. 3–17.
7. Костина В. А., Белкина О. А., Константинова Н. А. Краткий очерк природных условий // Мохообразные и сосудистые растения территории Полярно-альпийского ботанического сада. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. С. 8–15.
8. Кошурникова Н. Н. Годичная продукция мохового яруса в темнохвойных лесах Кеть-Чулымского лесорастительного округа (на примере гиллякомиума блестящего *Hylocomium splendens*) // Известия РАН. Серия биологическая. 2007. Вып. 5. С. 636–640.
9. Семко А. П. Режим тепла и влаги для роста и развития дикорастущих и интродуцированных растений в центральной части Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1989. 30 с.
10. Тимлянова А. А., Косых Н. П., Миронычева-Токарева Н. П. Прирост болотных растений // Сибирский журнал экологии. 2000. № 5. С. 653–658.
11. Callaghan T. V., Carlson B. A., Sonesson M., Temesváry A. Between-year variation in climate-related growth of circumpolar populations of the moss *Hylocomium splendens* // Funct. Ecol. 1997. Vol. 11. P. 157–165.
12. Ermolaeva O. V., Shmakova N. Yu., Lukyanova L. M. Of the growth of *Polytrichum*, *Pleurozium* and *Hylocomium* in the forest belt of the Khibiny Mountains // Arctoa. 2013. Vol. 22. P. 7–14.
13. Glimme J. M. Bryophyte Ecology. 2007. Vol. 1. Chapters 4, 5, 12. Available at: <http://www.bryoecol.mtu.edu> (accessed 12.05.2016).
14. Rincón E., Grime J. P. Plasticity and light interception by six bryophytes of contrasted ecology // J. Ecol. 1989. Vol. 77. P. 439–446.
15. Stark L. R. Invited essay, new frontiers in bryology and lichenology: phenology and its repercussions on the reproductive ecology of mosses // Bryologist. 2002. Vol. 105. P. 204–218.
16. Vitt D. H. Growth and production dynamics of boreal mosses over climatic, chemical and topographic gradients // Bot. J. Linn. Soc. 1990. Vol. 104. P. 35–59.

Ermolaeva O. V., Polar-alpine Botanical Garden-Institute of RAS (Kirovsk, Russian Federation)
Shmakova N. Yu., Polar-alpine Botanical Garden-Institute of RAS (Kirovsk, Russian Federation)

THE GROWTH AND MASS ACCUMULATION OF *HYLOCOMIUM SPLENDENS* IN Khibiny MOUNTAIN FOREST BELT

The annual increment dynamics (linear and mass) of *Hylocomium splendens* during vegetation periods in the forest belt of Khibiny mountains are examined. The main part of the linear growth (80 %) was formed in summer (with its maximum in mid-July). In autumn, the linear growth slowed down, but the mass of annual increment was actively growing. The growth indicators of moss in different conditions were compared. The linear and mass increments are the largest in the openings found between trees. The average growth of the linear increment in 2013–2015 was 18–28 mm/year, and the average growth of the dry mass amounted to 4–8 mg/year. It was revealed that the growth of *H. splendens* continued during two years: the length of the annual increment was formed mainly in the first year of its life, and the increase in the masses continued through the next year. A statistical model reflecting dependence of the growth rate of *H. splendens* in the openings between trees with main environmental factors is presented.

Key words: *Hylocomium splendens*, linear growth, mass annual increment, CO₂-exchange, Khibiny mountains

REFERENCES

1. Goncharova I. A., Ben'kov A. V. Dynamics of increments in green mosses of forest-boggy complexes in the south of Western Siberia [Dinamika prirostov zelenykh mkhov v lesobolotnykh kompleksakh yuga Zapadnoy Sibiri]. *Lesovedenie*. 2005. № 1. P. 43–51.
2. Goncharova I. A. *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) productivity in Siberian pine forests of Yamal-Nenets region [Productivnost' *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) v kedrovyykh lesakh Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2013. Vol. 49. Issue 2. P. 175–180.
3. Goncharova I. A., Sobachkin R. S. Annual increases and annual production of green mosses *Helodium blandowii* (Thuidiaceae) and *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) in forests of Angara region [Godichnye prirosty i godichnaya produktsiya mkhov *Helodium blandowii* (Thuidiaceae) i *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) v lesakh Priangar'ya]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2013. Vol. 49. Issue 4. P. 490–497.

4. Grabovik S. I. Dynamics of annual increment in some *Sphagnum* L. species in different complexes of mires of South Karelia [Dinamika godichnogo prirosta u nekotorykh vidov *Sphagnum* L. v razlichnykh kompleksakh bolot Yuzhnoy Karelii]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2002. Vol. 38. Issue 4. P. 62–68.
5. Knorre A. A., Vaganov E. A. The growth and annual productivity of *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) in northern ecosystems [Osobennosti rosta i godichnaya produktsiya *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae) v severnykh ekosistemakh]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2005. Vol. 41. Issue 4. P. 12–21.
6. Knorre A. A., Kirdyanov A. V., Vaganov E. A. Variation of main dominants of above-ground phytomass annual production of Central Siberia [Izmenchivost' godichnoy produktsii nadzemnoy fitomassy osnovnykh dominantov vysokoshirotnykh soobshchestv Tsentral'noy Sibiri]. *Rastitel'nye resursy* [Plant Resources]. 2007. Vol. 43. Issue 1. P. 3–17.
7. Kostina V. A., Belkina O. A., Konstantinova N. A. Short overview of environmental condition [Kratkiy ocherk prirodnykh usloviy]. *Mokhoobraznye i sosudistye rasteniya territorii Polyarno-al'piyskogo botanicheskogo sada*. Apatity, 2001. P. 8–15.
8. Koshurnikova N. N. Annual production of the moss layer in dark coniferous forests of Ket-Chulym forest district (by the example of moss *Hylocomium splendens*) [Godichnaya produktsiya mokhovogo yarusa v temnokhvoynnykh lesakh Ket'-Chulym'skogo lesorastitel'nogo okruga (na primere gilyakomiума blestyashchego *Hylocomium splendens*)]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological series]. 2007. Issue 5. P. 636–640.
9. Semko A. P. *Rezhim tepla i vlagi dlya rosta i razvitiya dikorastushchikh i introdutsirovannykh rasteniy v tsentral'noy chasti Kol'skogo poluostrova* [Regime of the warmth and moisture for the growth and development of wild and introductory plants in the central part of Kola Peninsula]. Apatity, KNTs AN SSSR Publ., 1989. 30 p.
10. Timlyanova A. A., Kosykh N. P., Mironycheva-Tokareva N. P. The increment of mire plants [Prirost bolotnykh rasteniy]. *Sibirskiy zhurnal ekologii*. 2000. № 5. P. 653–658.
11. Callaghan T. V., Carlson B. A., Sonesson M., Temesvary A. A year to year variation in climate-related growth of arctic populations of the moss *Hylocomium splendens* // *Funct. Ecol.* 1997. Vol. 11. P. 157–165.
12. Ermolaeva O. V., Shmakova N. Yu., Lukyanova L. M. On the growth of of *Polytrichum*, *Pleurozium* and *Hylocomium* in the forest belt of the Khibiny Mountains // *Arctoa*. 2013. Vol. 22. P. 7–14.
13. Glimé J. M. Bryophyte Ecology. 2007. Vol. 1. Chapters 4, 5, 12. Available at: <http://www.bryocol.mtu.edu> (assecced 12.05.2016).
14. Rincón E., Glimé J. P. Plasticity and light interception by six bryophytes of contrasted ecology // *J. Ecol.* 1989. Vol. 77. P. 439–446.
15. Stark L. R. Invited essay, new frontiers in bryology and lichenology: phenology and its repercussions on the reproductive ecology of mosses // *Bryologist*. 2002. Vol. 105. P. 204–218.
16. Vitt D. H. Growth and production dynamics of boreal mosses over climatic, chemical and topographic gradients // *Bot. J. Linn. Soc.* 1990. Vol. 104. P. 35–59.

Поступила в редакцию 08.06.2016

МАРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА ЛЕСОНЕН

аспирант кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
manika007@rktmail.ru

ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ШУСТОВ

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

НИКИТА АЛЕКСАНДРОВИЧ ОНИЩЕНКО

кандидат биологических наук, доцент кафедры зоотехнии, рыбоводства и товароведения, декан агротехнического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
neo@sampo.ru

ИЛЬЯ НИКИТИЧ ОНИЩЕНКО

кандидат биологических наук, главный специалист Управления рыбного хозяйства, Министерство сельского, рыбного и охотничьего хозяйства РК (Петрозаводск, Российская Федерация)
mazik-t@yandex.ru

АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ СУХОВ

научный сотрудник, Государственный природный заповедник «Кивач» (Кондопожский район, Российская Федерация)
alexander.suhov@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ПИТАНИЯ РЕЧНОГО ОКУНЯ (*PERCA FLUVIATILIS*) В ОЗЕРНЫХ И РЕЧНЫХ УСЛОВИЯХ КАРЕЛИИ

Представлен сравнительный анализ питания речного окуня (*Perca fluviatilis* L.) в озерных и речных условиях Карелии. Выявлено, что в отличие от озерных условий (озеро Вохтозеро) речной окунь в лососевой реке Суны в меньшей степени потребляет организмы зоопланктона, но в пищевом рационе, наряду с типично озерными жертвами – плотвой и уклейей, появляется и речной вид – бычок-подкаменщик. Установлено, что, несмотря на достаточно высокий процент пустых желудков (41 %), у окуней, обитающих на течении в реке Суны, средний индекс наполнения желудков составил 126 ‰, а также особенно максимальные индексы наполнения (до 1489 ‰) были выше по сравнению с озерными условиями (средний – 88 ‰, максимальный – 482 ‰). Такое различие в показателях объясняется тем, что в пищевом рационе окуня реки Суны большую долю занимает именно рыба.

Ключевые слова: питание, речной окунь, озеро, река, Карелия

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что речной окунь (*Perca fluviatilis* L.) во многих водоемах России, в том числе и в Карелии, является одним из многочисленных видов пресноводных рыб¹ [4]. Окунь относится к видам-эврифагам, поэтому практически все водные объекты – мелкие планктонные формы, зообентос, рыба, а также некоторые представители наземных позвоночных – встречаются в питании окуня² [10], [11]. Установлено, что состав пищи окуня в водоемах разного типа сильно варьирует, но основными кормовыми организмами всегда являются наиболее массовые и легкодоступные виды жертв [11]. Так, например, в сульфатных озерах Пинежского заповедника России состав пищи окуня очень однообразен – в пищевых комках всех размерных групп отмечено полное от-

сутствие зоопланктона и рыб, а главным и единственным компонентом является зообентос [1]. В то же время появление в Онежском озере инвазионного байкальского бокоплава (*Gamelinodes fasciatus* Stebbing) существенно изменило рацион питания окуней на литорали в пользу этого нового пищевого компонента [5].

Несмотря на то что окунь обитает не только в озерах, но и в реках, большинство исследований посвящено рассмотрению питания рыб в озерных условиях, а по рекам информации значительно меньше. Так, например, в статье «Роль хищных рыб в экосистемах» [10] приводятся сведения о том, что, в отличие от щуки, в дельте Волги окунь является активным хищником и часто преследует свою добычу на значительные расстояния и становится настоящим хищником уже на

первом году жизни. Аналогичная ситуация и по водоемам Карелии. Вопросам питания окуня в озерах Карелии посвящено много работ, изучены возрастные особенности состава пищи, рассчитаны суточные рационы, установлены сроки перехода окуня на хищничество, выявлены изменения рациона при появлении в Онежском озере инвазионного вида – байкальского бокоплава³ [5], [9], [14]. Информация о том, как питаются окуни в речных условиях, практически отсутствует, тем более в реках горного типа, к которым относится лососевая река Суна [7].

Наша статья посвящена сравнительному исследованию питания речного окуня в речных (р. Суна) и озерных условиях (оз. Вохтозеро) Карелии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу работы положены материалы, собранные на реке Суне и в озере Вохтозеро. Бассейн реки Суны расположен на северо-западном побережье Онежского озера. Истоком реки является оз. Кивиярви, а впадает она в Кондопожскую губу Онежского озера. Протяженность реки составляет 280 км, площадь водосбора – 7670 км², это вторая по протяженности река Карелии, средний уклон – 1,6 ‰, общее падение – 352,2 м, средний многолетний расход воды – 76,06 м³/с. Река образует озерно-речную систему, одна треть которой приходится на озера, самыми крупными являются Гимольское и Суккозеро. На реке имеется три водопада. Один из них – Кивач, расположенный в 34 км от устья⁴.

Озеро Вохтозеро принадлежит к бассейну Ладожского озера, расположено на водосборе реки Видлицы. Площадь водосбора 28,3 км². Акватория озера около 9 км², наибольшая длина – 7,8 км, ширина – 2 км, средняя глубина – 11 м, максимальная глубина – 35 м⁵. Озеро Вохтозеро вытянуто с юго-востока на северо-запад, имеет четыре ярко выраженных залива. С западной стороны к основной части озера примыкает широкий плес, а его восточная часть вытянута в широком направлении. В озеро впадает пять небольших ручьев. Сток осуществляется через реку Вохту (Вухтаньекти), вытекающую из южной части водоема и впадающую в северо-восточную часть озера Ведлозеро.

В реке Суне окунь отлавливался нами с мая по сентябрь 2015 года крючковой снастью два раза в сутки (утром и вечером) с берега на семи участках реки длиной около 3 км. На шести участках течение было достаточно быстрое, а на одном участке, представляющем собой залив (заводь), течение практически отсутствовало, а иногда становилось даже обратным. Поэтому в дальнейшем для анализа материалов всех рыб, обитающих на течении, мы объединили в один цифровой массив и сравнивали с рыбами из заводи. В озере Вохтозеро вылов рыбы проводился

с 2013 по 2015 год с помощью сетей (размер ячеи 20, 25, 30, 35 и 40 мм, высота 180 см), а также крючковой снастью – бортовыми удочками с подсадкой дождевых червей. Отлавливался окунь непосредственно в самой удаленной точке – заливе «карьер», расположенном в 4,5 км от форелевого хозяйства, куда окуни, питающиеся у садков, практически не заплывают [8]. После отлова рыб измеряли, взвешивали, извлекали желудки и сразу фиксировали 4 % раствором формалина. Камеральная обработка проводилась согласно традиционным, а также современным методам исследования питания рыб в естественных условиях⁶ [12]. Пищевой комок извлекали из желудка рыбы для определения общего индекса наполнения. Подсчитывалось количество организмов (N) – общее и для основных кормовых объектов. Определялась встречаемость (F) и доля основных кормовых объектов от массы всего корма (P). Для характера спектра питания использовали индекс относительной значимости (IR – index of relative significance), вычисляемый по формуле 1:

$$IR = \left(\frac{F_i P_i}{\sum F_i P_i} \right) \times 100\%, \quad (1)$$

где F_i – частота встречаемости каждого вида корма, P_i – доля по массе, i меняется от 1 до n (n – число видов кормовых организмов в пищевом комке) [9].

В последние годы этот индекс обязательно применяется во всех исследованиях по питанию рыб в естественных условиях. Например, Р. Р. Рафиков [13] применял индекс относительной значимости при анализе питания рыб искусственных водоемов на территории Республики Коми, а В. Б. Журавлев, С. Л. Ломакин и Ю. С. Решетников – при проведении морфоэкологического анализа обыкновенного сига озера Сорулукель в Республике Алтай [3]. Общий индекс наполнения желудка рассчитывался в проциенте (‰) как отношение веса пищи (мг) к весу рыбы (г), умноженному на величину 10.

Всего нами исследовано 329 экз. окуней, из них в реке Суне – 262 экз., в озере Вохтозеро – 67 экз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многочисленные исследования показали, что окунь следует рассматривать как вид со смешанным типом питания. Обычно в его пищевом рационе присутствуют организмы зоопланктона, бентоса, воздушные насекомые, растительные остатки и рыба. Аналогичная ситуация складывается и с исследованными нами окунями. Изучение содержимого желудков окуня в речных и озерных условиях показало достаточно большое сходство пищевых спектров рыб. Как в озере Вохтозеро, так и в реке Суне (на течении и в заводи) в желудках рыб присутствовал до-

статочной большой набор организмов зообентоса; из зоопланктона встречались представители кладоцер и копепод; также найдены воздушные насекомые и рыбы (таблица). Несмотря на большое разнообразие кормовых объектов (видов и форм), их число в среднем все же не превышает одного организма (N, экз.) как в речных, так и в озерных условиях. По частоте встречаемости пищевых организмов (F, %) как в реке, так и в озере основное место занимают из бентоса – нимфы поденок, личинки ручейников и хирономид, куколочки хирономид. В реке Суна из бентоса также преобладают личинки стрекоз (преимущественно в заводи), а в озере появляется водяной ослик. Второстепенные пищевые объекты окуня в реке на течении – моллюски, веснянки, жуки, гелеиды; в заводи – жуки, гелеиды, моллюски; в озере – жуки, моллюски, веснянки. Единично встре-

чались в озерных условиях моллюски и личинки стрекоз. По частоте встречаемости из зоопланктона преобладают кладоцеры (*Bosmina*, *Daphnia cristata*) в реке Суна в заводи и в озере Вохтозеро, меньше всего в реке на течении; второй по значимости представитель копепод (*Cyclops*) – в озере и в реке на течении, в заводи отсутствует.

Воздушные насекомые в питании окуня по частоте встречаемости преобладают в заводи, реже на течении и в озере. Растительные остатки играют незначительную роль в питании, по частоте встречаемости на первом месте – река в заводи, на втором – река на течении, в озере растительные остатки практически отсутствуют. Рыба в рационе окуня играет важную роль (см. таблицу). В речных условиях в рационе окуня по частоте встречаемости преобладает бычок-подкаменщик и карповые (плотва, укляя); в озе-

Питание речного окуня (*Perca fluviatilis* L.) в реке Суна и озере Вохтозеро

Показатели	Река Суна (май – сентябрь 2015 года)								Вохтозеро (2013–2015 годы)			
	течение				заводь				N	F	P	IR
Состав пищи	N	F	P	IR	N	F	P	IR				
Зоопланктон:												
Cladocera	< 1	15	4	3	< 1	31	5	5	< 1	30	20	23,5
Copepoda	< 1	2	0,1	0,01					< 1	18	10	7,03
Бентос:												
Asellus aquaticus									< 1	13	4	2
Chironomidae (L.)	< 1	22	5	7	< 1	43	9	12	< 1	16	4,3	3
Chironomidae (P.)	< 1	11	3	2	< 1	19	4	2	< 1	31	3	4
Coleoptera	< 1	3	2	0,3	< 1	7	2	0,4	< 1	6	0,4	0,09
Ephemeroptera (N.)	< 1	34	22,2	38	< 1	61	28	53	< 1	36	15	21,2
Heleidae (L.)	< 1	3	0,1	0,02	< 1	4	0,5	0,1	< 1	1	0,8	0,03
Mollusca	< 1	7	4	1,4	< 1	4	2	0,2	< 1	4	1	0,2
Odonata (L.)	< 1	18	15	14,7	< 1	24	17	12,6	< 1	1	1	0,04
Plecoptera (L.)	< 1	4	0,6	0,1					< 1	3	0,1	0,01
Trichoptera (L.)	< 1	25	11	14,17	< 1	15	5	2	< 1	33	12	15,5
Воздушные насекомые	< 1	13	6	4,6	< 1	26	10	8	< 1	9	2	0,7
Растительные остатки	< 1	4	1	0,2	< 1	17	5	3				
Рыба:												
Карповые	< 1	4	5	1	< 1	4	4,5	0,6				
Бычок-подкаменщик	< 1	6	7	2	< 1	6	6	1				
Сильно переваренная	< 1	15	14	11,5	< 1	2	2	0,1	< 1	28	18,4	20
Чешуя									< 1	10	8	3,41
Длина рыбы M (lim), см	15,7 (9–26,5)				13,4 (9,4–27)				31 (13,3–40)			
Вес рыбы M (lim), г	45,8 (6,5–210)				40 (12,6–213)				204 (34–951)			
Пустые желудки, %	41				7				34			
Индекс наполнения M (lim), ‰	125,6 (0,3–1288,9)				80,6 (4,5–874)				88,2 (2–482)			
n, экз.	208				54				67			

Примечание. (F,%) – частота встречаемости кормового объекта; (P, %) – доля каждого компонента по массе; (IR, %) – индекс относительной значимости; (N, экз.) – число пищевых организмов; (L.) – личинки; (P.) – куколочки; (N.) – нимфы.

ре Вохтозеро – окунь и плотва, а также чешуя плотвы, которая, возможно, поедается окунями во время охоты за стаями плотвы.

Таким образом, основным видом корма окуня в реке Суне (рис. 1) в заводи из бентоса являются нимфы поденок (28 % по массе), личинки стрекоз (17 %); на течении реки – нимфы поденок (22,2 %), личинки стрекоз (15 %) и ручейники (11 %); в озере Вохтозеро – нимфы поденок (15 %) и ручейники (12 % по массе). К второстепенным компонентам относятся: в реке Суне в заводи – личинки хирономид (9 %), ручейники (5 %), куколки хирономид (4 %), жуки (2 %), моллюски (2 % по массе); на течении – личинки хирономид (5 %), моллюски (4 %), куколки хирономид (3 %), жуки (2 % по массе); в озере Вохтозеро – личинки хирономид (4,3 %), водяной ослик (4 %), куколки хирономид (3 %), единично – личинки стрекоз и моллюски. Незначительная доля видов по массе в реке Суне в заводе – гелеиды (0,5 %); на течении – веснянки (0,6 %), гелеиды (0,1 %); в озере Вохтозеро – гелеиды (0,8 %), жуки (0,4 %), веснянки (0,1 %).

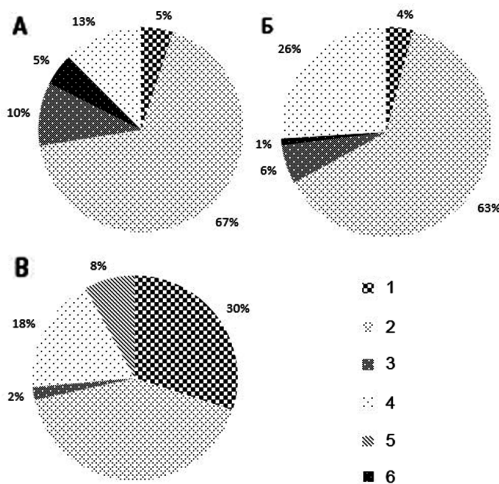


Рис. 1. Доля каждого компонента по массе (%) в питании окуня в озерных и речных условиях: А – река Суна (заводи), Б – река Суна (течение), В – озеро Вохтозеро; 1 – зоопланктон, 2 – бентос, 3 – воздушные насекомые, 4 – рыба, 5 – чешуя, 6 – растительные остатки

Наибольшая доля зоопланктона по массе в питании окуня в озере Вохтозеро принадлежит кладоцерам (20 %) и копеподам (10 %). В реке на течении кладоцеры составляют всего 4 %, а доля копепод очень мала (0,1 %); в заводи кладоцеры составляют 5 %, а копеподы практически отсутствуют.

Такие кормовые объекты, как воздушные насекомые, составили наибольшую долю по массе в заводи реки – 10 %, на течении – 6 %, в озере – всего 2 %. Незначительную роль в питании окуня в речных условиях играют растительные остатки, в озере они отсутствуют. Немаловажная роль в рационе окуня принадлежит рыбе (см. таблицу; рис. 1 и 2). Доля по массе переваренной рыбы со-

ставила в озере 18,4 %, здесь также много чешуи (8 %). В реке на течении окунь поедает рыбу в большем объеме, чем в озере, возможно, из-за наличия в реке Суне дополнительного источника питания – бычка-подкаменщика, который на порогах и перекатах этой реки обитает в большом количестве [6]. Так, по массе переваренная рыба на течении реки составила 14 %, бычок-подкаменщик – 7 %, карповые – 4 %. В заводи реки эти показатели ниже: переваренная рыба – всего 2 %, бычок-подкаменщик – 6 %, карповые – 4,5 %. Следует также отметить, что в речных условиях на течении окунь отдает предпочтение бентосу (63 % по массе) и рыбе (26 %); в заводи – бентосу (67 %), второстепенными компонентами являются рыба (13 %) и воздушные насекомые (10 % по массе). В озере Вохтозеро основными компонентами в питании окуня являются бентос (42 % по массе) и зоопланктон (30 %), также присутствует рыба – 18 %, что ниже, чем в речных условиях (см. рис. 1). Таким образом, в отношении качественного состава питания окуней в речных и озерных условиях, а также доли по массе пищевых компонентов нами установлены некоторые отличия.

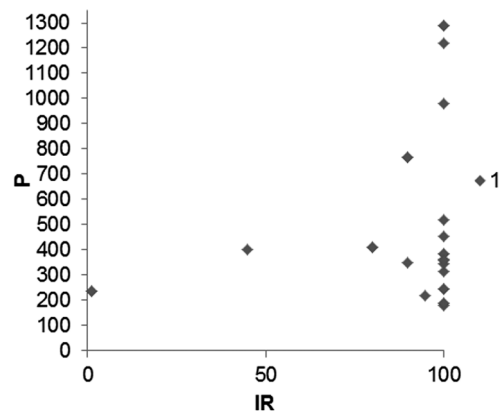


Рис. 2. Доля рыб в питании окуня в реке Суне на течении с высокими общими индексами наполнения желудка (%). По оси абсцисс: Р – % от массы пищевого комка; по оси ординат: RI – общий индекс наполнения желудка (%); 1 – доля рыб от массы пищевого комка в питании окуня, (%)

Также имеются различия и в объеме потребления пищи в р. Суне и оз. Вохтозеро. Нами установлено, что в реке на течении существенно более высокая накормленность окуней – в среднем 125 ‰, при колебаниях от 0,3 до 1288,9 ‰. У одного окуня была даже обнаружена жаба; естественно, что у этой рыбы нами был отмечен и самый высокий индекс наполнения – 4167 ‰ (он был исключен из расчетов среднего индекса наполнения). В озере индекс наполнения ниже и в среднем составил 88,6 ‰, при колебаниях от 2 до 482 ‰. В реке Суне в заводи средний индекс наполнения наименьший – 80,2 ‰, при колебаниях от 4,5 до 879 ‰.

В итоге установленные нами некоторые достаточно существенные отличия в питании озерных и речных окуней заключаются в следующем. Во-первых, в лососевой реке Суна у окуней существенно снижается доля зоопланктона в пищевом рационе, что вполне закономерно, так как в реках, особенно горного типа, численность и биомасса зоопланктона значительно ниже по сравнению со стоячими водоемами [6]. Большинство форм и видов зоопланктона (коловратки, ветвистоусые и веслоногие ракообразные) ведут свободно плавающий образ жизни, и поэтому они характерны именно для планктических комплексов озер, водохранилищ и больших равнинных рек [2].

Из литературных источников известно, что окунь в озерах Карелии начинает переходить на хищничество при разных размерах. Так, например, согласно сведениям, полученным из справочника «Озера Карелии»⁷, окунь переходит на хищничество при длине 13–15 см, а в озерах Калевальского района хищничество отмечено при длине рыб 10 см [9]. Следует отметить тот факт, что в речных условиях хищничество исследованных нами окуней начинает проявляться уже при меньших размерах – 13,1 см на течении и 12,1 см в заводи; в озере Вохтозеро этот показатель выше – 17,6 см. А более крупные окуни из р. Суны потребляют большее количество «рыбной» пищи, что приводит к высоким индексам наполнения желудков – даже более одной тысячи продецимилле (см. рис. 2). Причем у этих рыб в желудках обнаружен только один объект питания – рыба. Такие высокие индексы наполнения у окуней не встречены в озере Вохтозеро (максимальный индекс – 482 ‰), а также в других озерах Карелии. Так, например, в озерах Калевальского района максимальный индекс наполнения желудка у окуней озера Контолки не превышал 270 ‰, а средний составлял 179 ‰ [9]. В озерах Камен-

ное, Кимас и Нюк индексы наполнения желудка изменяются в пределах 22–32 ‰. Возможно, у рыб – потенциальных жертв речного окуня на течении несколько снижается ориентировка в окружающей среде, и, как результат, окуням «засадчикам» легче схватить сносимых течением рыб – плотву и уклейку. Мы уже упоминали о том, что у окуней в реке Суна «рыбный» рацион расширяется также за счет речных рыб (бычок-подкаменщик), обитающих обычно на порогах и перекатах лососевых рек, к которым и относится Суна. Несмотря на то что самый большой процент пустых желудков у окуней был выявлен нами именно в речных условиях (41 %), все же у этих рыб был отмечен и самый высокий индекс наполнения – 126 ‰; общий индекс наполнения в озере Вохтозеро составил 88,2 ‰, а в заводи реки Суны, где течение практически отсутствовало, этот показатель был чуть ниже – 80,6 ‰.

ВЫВОДЫ

На основании сравнительного анализа питания речного окуня в речных и озерных условиях Карелии мы установили, что по сравнению с озером Вохтозеро в реке Суна речной окунь меньше потребляет организмы зоопланктона, но в пищевом рационе, наряду с типично озерными жертвами из семейства Карповых (плотва и уклейка), появляется и речной вид – бычок-подкаменщик. В речных условиях хищничество окуней начинает проявляться при более малых размерах рыб – 12,1–13,1 см, а в озере только при длине 17,6 см. Несмотря на достаточно высокий процент пустых желудков (41 %) у окуней, обитающих на течении в реке Суна, средний индекс наполнения желудков, а также особенно максимальные индексы наполнения были выше по сравнению с озерными условиями, что объясняется большой долей в пище именно рыбы (бычок-подкаменщик, плотва, уклейка).

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Атлас пресноводных рыб России. Т. 2. М.: Наука, 2002. 253 с.; Озера Карелии: Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 461 с.

² Атлас пресноводных рыб России. Т. 2. М.: Наука, 2002. 253 с.

³ Озера Карелии: Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 461 с.

⁴ Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М., 1966. 376 с.

⁵ Озера Карелии: Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 461 с.

⁶ Каталог озер и рек Карелии / Под ред. Н. Н. Филатова и А. В. Литвиненко. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 209 с.

⁷ Озера Карелии: Справочник. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 461 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б а я н о в Н. Г. Опыт экологического мониторинга карстовых и пойменных озер в заповедниках России (на примере Пинежского и Керженского заповедников): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2015. 59 с.
2. Ж а д и н В. И., Г е р д С. В. Реки, озера и водохранилища СССР. Их флора и фауна. М., 1961. 599 с.
3. Ж у р а в л е в В. Б., Л о м а к и н С. Л., Р е ш е т н и к о в Ю. С. Морфоэкологическая характеристика обыкновенного сига *Coregonus lavaretus* (L.) озера Сорулукель в Республике Алтай // Экология. 2014. № 5. С. 1–9.
4. И в а н т е р Э. В., Р ы ж к о в Л. П. Рыбы. Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, 2004. 176 с.
5. И л ь м а с т Н. В., К у ч к о Я. А. Байкальский бокоплав *Gamelinodes fasciatus* (Stebbing) как кормовой объект окуня литоральной зоны Онежского озера // Вопросы рыболовства. 2012. Т. 13. № 1 (49). С. 35–40.
6. К р у г л о в а А. Н. К истории изучения зоопланктона рек Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2016. Вып. 4. С. 21–36.
7. С м и р н о в Ю. А., К о м у л а й н е н С. Ф., К р у г л о в а А. Н., Х р е н н и к о в В. В., Ш у с т о в Ю. А. Лососевые нерестовые реки Онежского озера. Биологический режим, использование. Л.: Наука, 1978. 102 с.

8. О н и щ е н к о И. Н. Особенности распределения, роста и питания озерных рыб в зоне форелевых хозяйств (Республика Карелия): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2015. 20 с.
9. П е р в о з в а н с к и й В. Я. Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование). Петрозаводск: Карелия, 1986. 216 с.
10. П о п о в а О. А. Роль хищных рыб в экосистемах // Изменчивость рыб пресноводных экосистем. М.: Наука, 1979. С. 91–170.
11. П о п о в а О. А. Питание и пищевые взаимоотношения судака, окуня и ерша в водоемах разных широт // Изменчивость рыб пресноводных экосистем. М.: Наука, 1979. С. 13–47.
12. П о п о в а О. А., Р е ш е т н и к о в Ю. А. О комплексных индексах при изучении питания рыб // Вопросы ихтиологии. 2011. Т. 51. № 5. С. 712–717.
13. Р а ф и к о в Р. Р. Формирование рыбного населения искусственных водоемов на территории Республики Коми: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2016. 18 с.
14. С т е р л и г о в а О. П., И л ь м а с т Н. В., С а в о с и н Д. С. Окунь *Perca fluviatilis* (Percidae) разнотипных водоемов Карелии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 2 (155). С. 57–62.

Lesonen M. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

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

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

Onishchenko I. N., The Ministry of Agriculture, Fish and Wildlife Service of the Republic of Karelia (Petrozavodsk, Russian Federation)

Sukhov A. V., State Reserve "Kivach" (Kondopoga region, Russian Federation)

FEEDING HABITS OF THE RIVER PERCH (*PERCA FLUVIATILIS* L.) FOUND IN KARELIAN LAKE AND RIVER WATERS

A comparative analysis of the nutrition content consumed by the river perch (*Perca fluviatilis*) in the lake and river waters of Karelia is submitted. It was revealed that in the waters of salmon river Suna the river perch (*Perca fluviatilis* L.) consumed smaller amounts of zooplankton than in the waters of Vokhtozero lake. The fish ration along with the typical lake provision – roach and ablet – was supplemented by river species – slimy sculpin. It is established that despite a rather high percent of empty stomachs (41%) in perch inhabiting the flows of the Suna River the average index of stomach fullness amounts to (126 ‰). The maximum fullness indexes (up to 1489 ‰) in perch dieting in river waters were higher in comparison with the ones dieting in the lake conditions (average – 88 ‰; maximum – 482 ‰). We came to a conclusion that such differences in the above provided indicators are explained by a big amount of fish in the perch's food ratio.

Key words: food, river perch, lake, river, Karelia

REFERENCES

1. Б а я н о в Н. Г. Опыты экологического мониторинга карстовых и пойменных озер в заповедниках России (на примере Пинежского и Керзхенского заповедников): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук [Experience of environmental monitoring of karst and inundated lakes in reserves of Russia (on the example of Pinezhsky and Kerzhensky reserves)] Petrozavodsk, 2015. 59 p.
2. З х а д и н В. И., Г е р д С. В. Реки, озера и водохранилища СССР. Их флора и фауна [Rivers, lakes and reservoirs of the USSR. Their flora and fauna]. Moscow, 1961. 599 p.
3. З х у р а в л е в В. В., Л о м а к и н С. Л., Р е ш е т н и к о в Ю. С. Морфоэкологические характеристики обывного сига *Coregonus lavaretus* (L.) озера Сорлукул в Республике Алтай [Morphoecological characteristics of the common whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) of Sorulukul Lake in Altai Republic]. *Ekologiya*. 2014. № 5. P. 1–9.
4. И в а н т е р Е. В., Р ы з х о в Л. П. Рыбы [Fishes]. Petrozavodsk, Izdatel'stvo PetrGU, 2004. 176 p.
5. И л ь м а с т Н. В., К у ч к о Я. А. Байкал амфипод *Gamelinodes fasciatus* (Stebbing) как кормовой объект окуня литоральной зоны Онежского озера. *Voprosy rybolovstva*. 2012. Vol. 13. № 1 (49). P. 35–40.
6. К р у г л о в а А. Н. О истории изучения зоопланктона рек Карелии [K istorii izucheniya zooplanktona rek Karelii]. *Trudy KarNTs RAN*. 2016. Issue 4. P. 21–36.
7. С м и р н о в Ю. А., К о м у л а й н е н С. Ф., К р у г л о в а А. Н., К х р е н н и к о в В. В., Ш у с т о в Ю. А. *Lososevye neresstovye reki Onezhskogo ozera. Biologicheskiy rezhim, ispol'zovanie* [Salmon spawning rivers of Lake Onega. The biological mode use]. Leningrad, Nauka Publ., 1978. 102 p.
8. О н и щ е н к о И. Н. Особенности распределения, роста и питания озерных рыб в зоне форелевых хозяйств (Республика Карелия): Автореф. дис. ... канд. биол. наук [Features of distribution, growth and food of lake fishes in a zone of trout farms (Republic of Karelia)]. Petrozavodsk, 2015. 20 p.
9. П е р в о з в а н с к и й В. Я. Рыбы водоемов Костомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование) [Fish of Kostomuksha iron ore deposit ponds (ecology, reproduction, use)]. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 1986. 216 p.
10. П о п о в а О. А. Роль хищных рыб в экосистемах [Role of predatory fish in ecosystems]. *Izmenchivost' ryb presnovodnykh ekosistem*. Moscow, Nauka Publ., 1979. P. 91–170.
11. П о п о в а О. А. Питание и пищевые взаимоотношения судака, окуня и ерша в водоемах разных широт. *Izmenchivost' ryb presnovodnykh ekosistem*. Moscow, Nauka Publ., 1979. P. 13–47.
12. П о п о в а О. А., Р е ш е т н и к о в Ю. А. О комплексных индексах при изучении питания рыб. *Voprosy ikhtiologii*. 2011. Vol. 51. № 5. P. 712–717.
13. Р а ф и к о в Р. Р. Формирование рыбного населения искусственных водоемов на территории Республики Коми: Автореф. дис. ... канд. биол. наук [Formation of the fish population of artificial reservoirs in the Republic of Komi]. Syktyvkar, 2016. 18 p.
14. С т е р л и г о в а О. П., И л ь м а с т Н. В., С а в о с и н Д. С. Окунь *Perca fluviatilis* (PERCIDAE) разнотипных водоемов Карелии. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2016. № 2 (155). P. 57–62.

Поступила в редакцию 28.06.2016

ЕВГЕНИЯ ЭДУАРДОВНА МУЧНИК

доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт лесоведения РАН (п/о Успенское, Российская Федерация)
eugenia@lichenfield.com

ДОПОЛНЕНИЯ К ЛИХЕНОБИОТЕ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА*

Исследования проводились в период с 2006 по 2015 год на территории Москвы, городского округа Химки и нескольких районов Московской области (Одинцовского, Пушкинского, Серебряно-Прудского и Серпуховского). В результате выявлены 25 видов лишайников, новых для Московского региона, и 1 вид (*Xanthocarpia ferrarii* (Bagl.) Frödén, Arup et Søchting), новый для центра европейской части России. Приводится аннотированный список этих видов с указанием точных местонахождений, местообитаний и субстратов. Для образцов стерильных видов дополнительно даны сведения о вторичных метаболитах. Обсуждается распространение выявленных видов в Центральной России.

Ключевые слова: лишайники, новые находки, *Xanthocarpia ferrarii*, Москва, Московская область, Центральная Россия

ВВЕДЕНИЕ

Сводки Л. Г. Бязрова [1], [2] содержат списки лишайнобиоты Московской области (370 видов) и Москвы (229), являющиеся результатом исследований многих авторов более чем за полтора столетия. При этом Л. Г. Бязров справедливо отмечает, что возможно приращение перечня за счет находок представителей новых для области таксонов.

Начиная с 2006 года нами проводились лишайнобиологические исследования на территории Москвы и Московской области [11], [12], [13] и др. И хотя не всегда основной целью было изучение биоразнообразия лишайников, определение собранных в эти годы материалов позволило выявить 26 новых для региона видов, 1 из которых является новым и для центра европейской части России, понимаемого в пределах Центрального федерального округа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Лишайнобиологические исследования проводились в период 2006–2015 годов на территории Москвы (охвачены участки Серебряноборского опытного лесничества Института лесоведения – ИЛАН РАН, Олимпийского и Ясеневого лесопарков, природно-исторического парка «Измайлово», ландшафтного комплекса «Крылатские холмы», ЦПКиО имени М. Горького, Парка искусств, Нескучного сада, музея-заповедника «Коломенское», Воронцовского парка, парка «Дубки»), городского округа Химки (Химкинская дубрава) и нескольких районов Московской области: Одинцовского, Пушкинского, Серебряно-Прудского и Серпуховского. Сборы и камеральная обработка проводились согласно общепринятым лишайнобиологическим методикам, проверка правильности определений проведена в лаборатории лишайнобиологии и бриологии Ботанического института

имени В. Л. Комарова РАН. Образцы стерильных видов проанализированы с помощью метода тонкослойной хроматографии (TLC) на базе Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Всего собрано и определено около 770 образцов. Материалы, находящиеся в личной коллекции автора, планируется передать на хранение в гербарий кафедры микологии и альгологии Московского государственного университета (МГУ).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже приведен аннотированный список видов, новых для Московского региона и центра европейской части России (далее ЦР), с указаниями точных местонахождений и дат сборов. Для образцов, определенных методом TLC, даны сведения о выявленных вторичных метаболитах. Упоминания о нескольких находках (в списке отмечены «*»), сделанных в пределах Москвы, содержатся в публикации Г. Э. Инсарова и др. [12], процитированной затем Л. Г. Бязровым [2], в обоих источниках не указаны точные местонахождения видов. Номенклатура дана согласно сводке «Список лишайнофлоры России» [16] с некоторыми современными изменениями [18], [19]. При обсуждении распространения видов в ЦР ссылки приведены только на публикации других исследователей, остальные данные являются результатом работ (в основном опубликованных) автора по изучению лишайнобиоты различных регионов ЦР (Центрального Черноземья, Ярославской, Рязанской, Орловской, Брянской областей). В случае ссылки на неопубликованные данные отмечено: «данные автора».

Xanthocarpia ferrarii (Bagl.) Frödén, Arup et Søchting: Серебряно-Прудский район, 54°37.578' с. ш., 38°49.387' в. д., окр. с. Б. Белынычи, берег р. Осетр, остепненные склоны с выходами извест-

тняка, на известняке, 24.08.2014 (det. Vondrák J.). Вид, новый для ЦР, выявлен также в Орловской области (данные автора). Согласно описанию [21], *X. ferrarii* характеризуется частично эпилитным талломом бледно-серого цвета (из-за отсутствия антрахинонов), крупными апотециями (свыше 0,5 мм в зрелой стадии) с собственным краем 120–150 мкм толщиной и неясно кренулированным, нерасширенным слоевищным краем; аскоспорами 15–20 × 6–8 мкм с перегородкой 1–4 мкм толщиной. Близкий вид *X. crenulatella* отличается желтым цветом таллома (в случае его присутствия), более узким (80–100 мкм) собственным краем апотеция и слегка расширенным, более светлым, чем собственный, ясно кренулированным слоевищным краем.

Arthonia apatetica (A. Massal.) Th. Fr.: городской округ Химки, 55°54.640' с. ш., 37°28.108' в. д., Химкинская дубрава, на коре рябины, 02.07.2015. Рассеяно встречающийся в ЦР вид, ближайшие местонахождения выявлены в Рязанской [9], Ярославской, Тверской [14] и Владимирской [8] областях.

Vacidina egenula (Nyl.) Vězda: Серебряно-Прудский район, 54°37.578' с. ш., 38°49.387' в. д., окр. с. Б. Белынычи, берег р. Осетр, остепненные склоны с выходами известняка, на известняке, 24.08.2014. Широко распространенный в ЦР вид, ближайшие местонахождения – в Рязанской [9], Тверской [14] и Ярославской областях [3].

Caloplaca inconnexa (Nyl.) Zahlbr.: Серебряно-Прудский район, 54°37.578' с. ш., 38°49.387' в. д., окр. с. Б. Белынычи, берег р. Осетр, остепненные склоны с выходами известняка, на известняке, 24.08.2014. В группировке с *Candelariella aurella*, *Flavoplaca oasis*, *Physcia caesia*. По-видимому, рассеяно распространен на выходах карбонатных пород в зоне лесостепи. Ранее выявлен на известняках в Липецкой и Орловской областях.

Caloplaca cf. monacensis (Leder.) Lettau: Серебряно-Прудский район, 54°37.578' с. ш., 38°49.387' в. д., окр. с. Б. Белынычи, берег р. Осетр, остепненные склоны с выходами известняка, на коре старой березы в посадке, 24.08.2014. В группировке с *Lecania naegelii*, *Phaeophyscia orbicularis*, *Physcia stellaris*. Вид, близкий к *C. cerina* s. lat. и *C. chlorina*, сравнительно недавно выявлен в европейской части России на территории Липецкой, Белгородской областей и Татарстана [20].

**Candelariella efflorescens* R. C. Harris et W. R. Buck: г. Москва: 1) 55°37.190' с. ш., 37°32.781' в. д., Битца, Ясенеvский лесопарк, близ Соловьиного проезда, д. 1, на коре дуба, 21.06.2006; 2) там же, 23 кв., широколиственный лес, на древесине, 24.05.2006; Одинцовский район, Серебряноборское опытное лесничество ИЛАН РАН: 1) 55°44.694' с. ш., 37°20.521' в. д., 48 кв., хвойно-широколиственный лес, на коре сухостойной осины, 12.05.2010; 2) 55°44.717' с. ш., 37°19.787' в. д., 27 кв., березовый лес, на коре рябины, 02.06.2015;

Серебряно-Прудский район, 54°35.175' с. ш., 38°36.680' в. д., платформа 152 км, в посадке вдоль железнодорожного полотна, на коре дуба и ивы, 26.08.2014; Серпуховский район, 54°49.767' с. ш., 37°31.627' в. д., окр. с. Шипилово, широколиственный лес, на коре дуба, 13.09.2014. Вид широко распространен в регионе и ЦР в целом, пока не отмечен только во Владимирской, Смоленской и Ивановской областях.

Catillaria nigroclavata (Nyl.) J. Steiner: г. Москва: 1) 55°45.782' с. ш., 37°48.229' в. д., Измайловский лесопарк, Терлецкая дубрава, на коре рябины, 24.05.2012; 2) 55°49.293' с. ш., 37°34.056' в. д., парк «Дубки», на ветвях дуба (отпад), 31.05.2013; городской округ Химки, 55°54.640' с. ш., 37°28.108' в. д., Химкинская дубрава, на коре лещины, ветвях дуба, 02.07.2015; Одинцовский район, Серебряноборское опытное лесничество ИЛАН РАН: 1) 55°44.726' с. ш., 37°18.935' в. д., 25 кв., широколиственный лес, на коре молодой липы, 02.06.2015; 2) 55°44.717' с. ш., 37°19.787' в. д., 27 кв., березовый лес, на коре рябины, 02.06.2015; 3) 55°43.990' с. ш., 37°17.463' в. д., 55 кв., сосновый лес, на коре лещины, 03.06.2015; 4) 55°47.569' с. ш., 37°22.001' в. д., 2 кв., хвойно-широколиственный лес, на коре рябины, 06.06.2015; 5) 2 кв., 55°47.551' с. ш., 37°22.175' в. д., липовый лес, на коре липы, 06.06.2015; Пушкинский район, 56°06.832' с. ш., 37°58.561' в. д., учебное лесничество Правдинского лесхоза-техникума, 99 кв., хвойно-широколиственный лес, на коре березы, 19.07.2013; Серпуховский район, окр. г. Пушино, 54°49.314' Е 37°34.693', долина р. Любожихи, ольшаник в пойме, на коре ольхи серой, 13.09.2014. По-видимому, широко распространенный в регионе вид, часто пропускается при сборах из-за слабозаметного таллома и мелких апотециев. В ЦР выявлен во всех областях, кроме Костромской.

Chaenotheca xyloxena Nádov.: Одинцовский район, Серебряноборское опытное лесничество ИЛАН РАН: 1) 55°44.481' с. ш., 37°19.603' в. д., 46 кв., сосновый лес, на сухой древесине, 02.06.2015; 2) 55°44.868' с. ш., 37°18.878' в. д., 26 кв., сосновый лес, на сухой древесине, 02.06.2015; Пушкинский район, 56°06.832' с. ш., 37°58.561' в. д., учебное лесничество Правдинского лесхоза-техникума, 99 кв., хвойно-широколиственный лес, на сухой древесине, 19.07.2013. Спорадически встречающийся почти во всех регионах ЦР вид, пока не выявлен только в Смоленской, Ивановской и Брянской областях.

Cladonia bacilliformis (Nyl.) Sarnth.: Одинцовский район, Серебряноборское опытное лесничество ИЛАН РАН, 55°44.688' с. ш., 37°19.127' в. д., 43 кв., сосновый лес, у основания старой сосны, 02.06.2015. Редко встречающийся в ЦР вид. Отмечались находки в Тверской [7], Калужской [17], Воронежской, Орловской и Брянской областях.

Cladonia symphyocarpa (Flörke) Fr.: Серебряно-Прудский район, 54°37.578' с. ш., 38°49.387' в. д., окр. с. Б. Белынычи, берег р. Осетр, остепненные склоны с выходами известняка, на мелкозем и мхах по известняковым валунам, 24.08.2014. Вид, характерный в основном для петрофитно-кальцефитных степных или остепненных местообитаний (изредка встречается на торфяных или песчаных почвах), ближайшие местонахождения – Тверская [15], Тульская [4], Рязанская и Ярославская области.

**Eopurenula leucoplaca* (Wallr.) R. C. Harris: г. Москва, 55°37.774' с. ш., 37°31.481' в. д., Битца, Олимпийский лесопарк, вглубь около 350 м от ул. Капица, широколиственный лес, на коре клена татарского, 13.03.2007. Рассеянно встречающийся в центре европейской части России вид, ближайшие местонахождения – в Тверской [14], Калужской [6], Рязанской и Владимирской [10] областях.

Fuscidea pusilla Tønsberg: городской округ Химки, 55°54.640' с. ш., 37°28.108' в. д., Химкинская дубрава, на коре березы, 02.07.2015; Одинцовский район, Серебряноборское опытное лесничество ИЛАН РАН: 1) 55°44.481' с. ш., 37°19.603' в. д., 46 кв., сосновый лес, на коре сосны, 02.06.2015; 2) 55°44.273' с. ш., 37°20.643' в. д., 47 кв., сосново-березовый лес, на коре березы, 12.05.2010; 3) 55°43.982' с. ш., 37°17.626' в. д., 56 кв., сосновый лес, на коре сосны, 02.06.2015; 03.06.2015; Пушкинский район, 56°06.832' с. ш., 37°58.561' в. д., учебное лесничество Правдинского лесхоза-техникума, 99 кв., хвойно-широколиственный лес, на коре березы, 19.07.2013. TLC: дивариковая кислота. Ранее отмечался в хвойно-широколиственных лесах Владимирской, Рязанской [10], Орловской и Ярославской областей. Вероятно, распространен более широко, но из-за слабозаметного стерильного таллома, скорее всего, пропускается при сборах либо вызывает затруднения при идентификации (необходим анализ вторичных метаболитов).

Flavoplaca oasis (A. Massal.) Arup, Frödén et Søchting: Серебряно-Прудский район, 54°37.578' с. ш., 38°49.387' в. д., окр. с. Б. Белынычи, берег р. Осетр, остепненные склоны с выходами известняка, на известняке, 24.08.2014. В группировке с *Caloplaca inconnexa*, *Candelariella aurella*, *Physcia caesia*. Редкий вид, ранее был выявлен в Липецкой области.

**Lecania koerberiana* J. Lahm.: г. Москва, 55°37.774' с. ш., 37°31.481' в. д., Битца, Олимпийский лесопарк, вглубь около 350 м от ул. Капица, широколиственный лес, на коре клена татарского, 13.III.2007; городской округ Химки, 55°54.640' с. ш., 37°28.108' в. д., Химкинская дубрава, на ветвях дуба, 02.07.2015; Одинцовский район, Серебряноборское опытное лесничество ИЛАН РАН, 55°43.990' с. ш., 37°17.463' в. д., 55 кв., сосновый лес, на коре лещины, 03.06.2015. Рассеянно рас-

пространен в ЦР, ближайшие местонахождения выявлены в Ярославской и Рязанской областях.

Lecidella flavosorediata (Vězda) Hertel et Leuckert: Пушкинский район, 56°06.832' с. ш., 37°58.561' в. д., учебное лесничество Правдинского лесхоза-техникума, 99 кв., хвойно-широколиственный лес, на коре дуба, 19.07.2013. TLC: ксантоны, артотелин. Вид обычно стерилен, определяется анализом вторичных метаболитов. Рассеянно, местами часто распространен в ЦР. Ближайшие местонахождения выявлены в Рязанской и Орловской областях.

Lecidella patavina (A. Massal.) Knoph et Leuckert: Серебряно-Прудский район, 54°37.578' с. ш., 38°49.387' в. д., окр. с. Б. Белынычи, берег р. Осетр, остепненные склоны с выходами известняка, на известняке, 24.08.2014. В группировке с *Candelariella vitellina*. Редкий вид кальцийсодержащих каменистых субстратов в открытых степных местообитаниях. В ЦР выявлен в 2013–2014 годах на территории Воронежской и Орловской областей (данные автора, образцы размещены соответственно в ORIS (б/н) и LE-L № 11907).

Lepraria jackii Tønsberg: Одинцовский район, Серебряноборское лесничество ИЛАН РАН: 1) 55°44.633' с. ш., 37°19.449' в. д., 46 кв., сосновый лес, на коре сосны, 02.06.2015; 2) 55°43.990' с. ш., 37°17.463' в. д., 55 кв., сосновый лес, на коре лещины и сосны, 03.06.2015; 3) 55°43.982' с. ш., 37°17.626' в. д., 56 кв., сосновый лес, на гниющей древесине; 4) 55°44.350' с. ш., 37°17.787' в. д., 56 кв., сосновый лес, на гниющей древесине. TLC: атранорин, джекиевая и рочелловая кислоты. Вид встречается только в стерильном состоянии, определяется анализом вторичных метаболитов. Ближайшие местонахождения выявлены в Калужской [5], Ярославской, Рязанской и Орловской областях.

Melanelixia glabrata (Lamy) Sandler and Arup: Одинцовский район, Серебряноборское лесничество ИЛАН РАН, 55°44.717' с. ш., 37°19.787' в. д., 27 кв., березовый лес, на коре рябины, 02.06.2015. Широко распространенный в ЦР вид, обнаруженный во всех областях, за исключением Тверской, Смоленской и Ивановской.

**Mycobilimbia carnealbida* (Müll. Arg.) Vittik., Ahti, Kuusinen, Lommi et T. Ulvinen: г. Москва, 55°37.774' с. ш., 37°31.481' в. д., Битца, Олимпийский лесопарк, вглубь около 350 м от ул. Капица, по мхам у основания старого дерева березы, 13.03.2007. Рассеянно встречающийся в ЦР вид, ближайшие местонахождения отмечены в Тверской [14], Ярославской и Рязанской областях.

Mycobilimbia epixanthoides (Nyl.) Vitik., Ahti, Kuusinen, Lommi et T. Ulvinen: Серебряно-Прудский район, Серебряно-Прудское лесничество, 54°31.020' с. ш., 38°41.428' в. д., 69 кв., широколиственный лес, на замшелой коре у основания осины, 26.08.2014. Рассеянно распространен в ЦР,

ближайшие местонахождения выявлены в Тверской [14], Ярославской и Рязанской областях.

Mycocomrothelia confusa D. Hawksw.: Одинцовский район, Серебряноборское лесничество ИЛАН РАН, 55°47.598' с. ш., 37°22.154' в. д., 2 кв., хвойно-широколиственный лес, на коре липы, 06.06.2015. Рассеянно распространен в ЦР, ближайшие местонахождения – в Рязанской и Орловской областях.

Physconia perisidiosa (Erichsen) Moberg: г. Москва, 55°39.940' с. ш., 37°32.255' в. д., Воронцовский парк, на коре дуба, 21.06.2015. В ЦР встречается спорадически, ближайшие местонахождения – в Рязанской [9], Калужской [17] и Тверской [14] областях.

Placynthiella dasaea (Stirt.) Tønsberg: Одинцовский район, Серебряноборское лесничество ИЛАН РАН, 55°44.701' с. ш., 37°19.311' в. д., 43 кв., сосновый лес, на гниющей древесине, 02.06.2015; Серпуховский район, 54°49.767' с. ш., 37°31.627' в. д., окр. с. Шипилово, широколиственный лес, на гниющей древесине, 13.IX.2014. TLC: гидрофорная кислота. Широко распространенный, чаще всего, стерильный вид, определяется анализом вторичных метаболитов. Рассеянно встречается в ЦР, выявлен во всех областях, за исключением Владимирской, Смоленской и Ивановской.

Rinodina efflorescens Malme: Пушкинский район, 56°06.832' с. ш., 37°58.561' в. д., учебное лесничество Правдинского лесхоза-техникума, 99 кв., хвойно-широколиственный лес, на коре дуба, 19.07.2013; Серебряно-Прудский район, Серебряно-Прудское лесничество, 54°35.073' с. ш., 38°37.623' в. д., 27 кв., широколиственный лес, на коре валежной липы, 26.08.2014; Серпуховский район, окр. г. Пушкино, 54°49.314' Е 37°34.693', долина р. Любожихи, смешанный лес, на коре дуба, 13.09.2014. TLC: паннарин, «efflorescens»-вещество. Вид обычно стерилен, определяется анализом вторичных метаболитов. В ЦР ранее отмечался на территории Тверской области [15], возможно, распространен шире, но вызывает затруднения при идентификации (необходим анализ вторичных метаболитов).

Ropalospora viridis (Tønsberg) Tønsberg: Одинцовский район, Серебряноборское лесничество ИЛАН РАН, 55°44.717' с. ш., 37°19.787' в. д., 27 кв., березовый лес, на коре березы, 02.06.2015. Вид обычно стерилен, определяется анализом вторичных метаболитов. TLC: перлатоловая кислота. Рассеянно встречается в ЦР, ближайшие местонахождения выявлены в Калужской [17], Тверской [14], Владимирской [9] и Рязанской областях.

**Scoliciosporum sarothamni* (Vain.) Vězda: г. Москва, 1) Битца, Ясневский лесопарк, 55°37.273'

с. ш., 37°32.971' в. д., между Соловьиным проездом и Севастопольским проспектом, на коре дуба, 21.06.2006; 2) там же, 55°36.909' с. ш., 37°33.351' в. д., 15 кв., на коре дуба, 12.07.2006; 3) Крылатские холмы: 55°45.622' с. ш., 37°25.486' в. д., на коре дуба, 29.09.2006; 4) там же, 55°45.496' с. ш., 37°25.362' в. д., на коре дуба, 29.09.2006; 5) парк «Коломенское», 55°40.148' с. ш., 37°39.978' в. д., на коре липы, 18.08.2006; 6) там же, 55°40.254' с. ш., 37°40.170' в. д., на коре липы, 26.09.2006; 7) Измайловский лесопарк, 55°46.072' с. ш., 37°47.942' в. д., на ветвях липы, 24.05.2012; 8) парк «Дубки», 55°49.293' с. ш., 37°34.056' в. д., на коре рябины, 31.05.2013; 9) Воронцовский парк, 55°39.940' с. ш., 37°32.255' в. д., на коре дуба, 21.06.2015; городской округ Химки, 55°54.640' с. ш., 37°28.108' в. д., Химкинская дубрава, на коре дуба, 02.07.2015; Одинцовский район, Серебряноборское опытное лесничество ИЛАН РАН: 1) 55°44.397' с. ш., 37°20.131' в. д., 47 кв., в посадках и сосново-березовом лесу, на коре лиственницы европейской и ветвях березы, 12.05.2010; 2) 55°44.887' с. ш., 37°20.612' в. д., 29 кв., на ветвях дуба, 12.05.2010; 3) 55°44.688' с. ш., 37°19.127' в. д., 43 кв., сосновый лес, на коре сосны, 02.06.2015; Пушкинский район, 56°06.832' с. ш., 37°58.561' в. д., учебное лесничество Правдинского лесхоза-техникума, 99 кв., хвойно-широколиственный лес, на ветвях дуба, 19.07.2013; Серпуховский район, окр. г. Пушкино, 54°49.314' с. ш., 37°34.693' в. д., долина р. Любожихи, смешанный лес, на коре сухой сосны, 13.09.2014. По-видимому, широко распространенный в регионе вид часто пропускается при сборах из-за слабозаметного таллома и мелких апотециев. В ЦР встречается рассеянно, местами часто. Ближайшие местонахождения выявлены в Тверской [15], Калужской [17], Рязанской и Ярославской областях.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор приносит благодарность А. Г. Паукову (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург) за организацию и участие в проведении TLC-анализа; Я. Вондрака (Институт ботаники Чешской академии наук, г. Замек) за помощь в ревизии и определении образцов из семейства Teloschistaceae. Особая признательность Г. Э. Инсарову (Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, г. Москва); В. Г. Кулакову и Ю. Ю. Кулаковой (Всероссийский научно-исследовательский институт карантина растений, п. Быково, Раменский район Московской области) за содействие в организации исследований.

* Работа выполнена в рамках плановой темы ИЛАН РАН «Разнообразие и индикаторная роль лишенобиоты лесной и лесостепной зон Центральной России» (№ 01201359064)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бязров Л. Г. Видовой состав лишенобиоты Московской области. Версия 2. 2009 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.se06.n.ru/laboratories/biazrov_msk.html (дата обращения 18.05.2016).
2. Бязров Л. Г. Видовой состав лишенобиоты территории Большой Москвы Версия 1. 2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.se06.n.ru/laboratories/biazrov_big_msk_2012.html (дата обращения 18.05.2016).
3. Гимельбрант Д. Е., Кондакова Г. В., Грачева Ю. Т. Дополнения к лишенофлоре Ярославской области // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2013. Вып. 30. № 7. С. 107–111.
4. Гудовичева А. В. Лишайники лесостепной части Тульской области // Проблемы изучения и восстановления ландшафтов лесостепной зоны. Вып. 2. Тула: Государственный Военно-исторический и природный музей-заповедник «Куликово поле», 2011. С. 59–77.
5. Гудовичева А. В., Гимельбрант Д. Е. Дополнения к лишенофлоре севера Среднерусской возвышенности // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2012. Вып. 25. № 3. С. 150–164.
6. Гудовичева А. В., Нотов А. А., Гимельбрант Д. Е., Журбенко М. П. Новые для Калужской и Тульской областей виды лишайников, сапротрофных и лишенофильных грибов // Вестник Тверского государственного университета. Сер. Биология и экология. 2015. № 1. С. 156–179.
7. Еленкин А. А. Флора лишайников Средней России. Части 3-я и 4-ая. Сем. Lecideaceae (продолжение), Cladoniaceae, Ascosporaceae, Gyalectaceae, Urceolariaceae, Thelotremaeae. Юрьев: Типография К. Матисена, 1911. С. 361–682.
8. Жданов И. С. Новые и редкие виды лишайников из разных регионов России // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 2014. Т. 119. Вып. 6. С. 76–78.
9. Жданов И. С., Волоسوнова Л. Ф. Предварительный список лишайников Окского биосферного заповедника (Рязанская область) // Новости систематики низших растений. 2008. Т. 42. С. 178–188.
10. Жданов И. С., Волоسوнова Л. Ф. Материалы к лишенофлоре Мещерской низменности (в пределах Владимирской и Рязанской областей) // Новости систематики низших растений. 2012. Т. 46. С. 145–160.
11. Инсаров Г. Э., Мучник Е. Э. Лишайники в условиях загрязнения воздуха в Москве // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоиздат, 2007. Т. 21. С. 404–434.
12. Инсаров Г. Э., Мучник Е. Э., Инсарова И. Д. Эпифитные лишайники в условиях загрязнения атмосферы Москвы: методология долговременного мониторинга // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. М.: ИГКЭ, 2010. Т. 23. С. 277–296.
13. Мучник Е. Э., Каплина Н. Ф., Кулакова Н. Ю., Селочник Н. Н., Ермолова Л. С. Методология оценки и прогноза состояния дубрав в условиях антропогенных воздействий (на примере Московского региона) // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2014. № 6. С. 216–225.
14. Нотов А. А., Гимельбрант Д. Е., Урбанавичюс Г. П. Аннотированный список лишенофлоры Тверской области. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2011. 124 с.
15. Нотов А. А., Урбанавичюс Г. П., Гимельбрант Д. Е., Титов А. Н. Дополнение к лишенофлоре Тверской и Московской областей // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 2008. Т. 113. Вып. 6. С. 78–82.
16. Список лишенофлоры России / Сост. Г. П. Урбанавичюс. СПб.: Наука, 2010. 194 с.
17. Фадеева М. А., Кравченко А. В. Первые итоги инвентаризации лишайников национального парка «Угра» // Природа и история Поюгорья. Вып. 5. Калуга: Издательство научной литературы Н. Ф. Бочкаревой, 2009. С. 84–90.
18. Arup U., Berlin E. S. A taxonomic study of *Melanelixia fuliginosa* in Europe // The Lichenologist. 2011. Vol. 43. № 2. P. 89–97.
19. Arup U., Søchting U., Frödén P. A new taxonomy of the family Teloschistaceae // Nordic Journal of Botany. 2013. Vol. 31. P. 16–83.
20. Muchnik E., Wilk K., Vondrák J., Frolov I. Contribution to the knowledge of the genus *Caloplaca* in Central European Russia // Polish Botanical Journal. 2014. Vol. 59. № 2. P. 263–270.
21. Vondrák J., Říha P., Redchenko O., Vondrákova O., Hrouzek P. et Khodosovtsev A. The *Caloplaca renulatella* species complex; its intricate taxonomy and description of a new species // The Lichenologist. 2011. Vol. 43. № 5. P. 467–481.

Muchnik E. E., Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences (Uspenskoe, Russian Federation)

ADDITIONS TO LICHEN BIOTA OF MOSCOW REGION

The studies were conducted between 2006 and 2015 in Moscow, in the district of Khimki city and several other districts of the Moscow region (Odintsovsky, Pushkinsky, Serebryano-Prudsky, and Serpukhovsky). As a result, records of 25 lichen species new for the Moscow region and 1 species (*Xanthocarpia ferrarii* (Bagl.) Frödén, Arup et Søchting) new for the central part of European Russia are presented. The annotated list of species includes the obtained data on their exact locations, habitats, and substrates. The additional information about secondary metabolites is given for some sterile samples of species. The geographic distribution of species identified in Central Russia is discussed.

Key words: lichen biota, lichens, new records, Moscow, Moscow province, Central Russia

REFERENCES

1. Biazrov L. G. *Vidovoy sostav likhenobioty Moskovskoy oblasti. Versiya 2. 2009* [The species composition of Moscow province lichen biota. Version 2 (2009)]. Available at: http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_msk.html (accessed 18.05.2016).
2. Biazrov L. G. *Vidovoy sostav likhenobioty territorii Bol'shoi Moskvy. Versiya 1. 2012* [The species composition of Big Moscow territory lichen biota. Version 1 (2012)]. Available at: http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_big_msk_2012.html (accessed 18.05.2016).
3. Gimel'brant D. E., Kondakova G. V., Gracheva Yu. T. Contribution to the lichen flora of Yaroslavl' region [Dopolneniya k likhenoflore Yaroslavskoy oblasti]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of the Tver State University. Series Biology and Ecology]. 2013. Issue 30. № 7. P. 107–111.

4. Gudovich A. V. The lichens of the forest-steppe zone of Tula region [Lishayniki lesostepnoy chasti Tul'skoy oblasti]. *Problemy izucheniya i vosstanovleniya landshaftov lesostepnoy zony*. Issue 2. Tula, 2011. P. 59–77.
5. Gudovich A. V., Gimel'brant D. E. Contribution to the lichen flora of northern part of the Mid-Russian region upland [Dopolneniya k likhenoflore severa Srednerusskoy vozvysheynosti]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of the Tver State University. Series Biology and Ecology]. 2012. Issue 25. № 3. P. 150–164.
6. Gudovich A. V., Notov A. A., Gimel'brant D. E., Zhurbenko M. P. Species of lichens and allied fungi new to Kaluga and Tula regions [Novye dlya Kaluzhskoy i Tul'skoy oblastey vidy lishaynikov, saprotrofnikh i likhenofil'nykh gribov]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Biologiya i ekologiya* [Bulletin of the Tver State University. Series Biology and Ecology]. 2015. № 1. P. 156–179.
7. Еленкин А. А. Флора лишайников Средней России. Части 3-я и 4-ая. Сем. Lecideaceae (продолжение), Cladoniaceae, Acarosporaceae, Gyalectaceae, Urceolariaceae, Thelotremaceae. Юрьев: Типография К. Маттисена, 1911. С. 361–682.
8. Zhdanov I. S. New and rare species from various regions of Russia [Novye i redkie vidy lishaynikov iz raznykh regionov Rossii]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel Biologicheskii*. 2014. Vol. 119. Issue 6. P. 76–78.
9. Zhdanov I. S., Volosnova L. F. Preliminary list of lichens of Oksky Biosphere Reserve (Ryazan Region) [Predvaritel'nyy spisok lishaynikov Okskogo biosferного zapovednika (Ryazanskaya oblast')]. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy*. 2008. Vol. 42. P. 178–188.
10. Zhdanov I. S., Volosnova L. F. Materials to the lichen flora of Meshchersky lowland (within the Vladimir and Ryazan regions [Materialy k likhenoflore Meshcherskoy nizmennosti (v predelakh Ryazanskoy i Vladimirskoy oblastey)]. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy*. 2012. Vol. 46. P. 145–160.
11. Inсарov G. E., Muchnik E. E. Lichens and Air Pollution in Moscow [Lishayniki v usloviyakh zagryazneniya vozdukhа v Moskve]. *Problemy ekologicheskogo monitoringа i modelirovaniya ekosistem*. Vol. 21. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2007. P. 404–434.
12. Inсарov G. E., Muchnik E. E., Inсарova I. D. Epiphytic lichens under air pollution stress in Moscow: Methodology for long-term monitoring [Epifitnye lishayniki v usloviyakh zagryazneniya atmosfery Moskvy: metodologiya dolgovernenogo monitoringа]. *Problemy ekologicheskogo monitoringа i modelirovaniya ekosistem*. Moscow, IGKE Publ., 2010. Vol. 23. P. 277–296.
13. Muchnik E. E., Kaplina N. F., Kulakova N. Yu., Selochnik N. N., Ermolova L. S. Methodology for evaluation and prediction of oak forests STATE under anthropogenic impact (the case of Moscow region) [Metodologiya otsenki i prognoza sostoyaniya dubrav v usloviyakh antropogennykh vozdeystviy (na primere Moskovskogo regiona)]. *Vestnik MGUL – Lesnoy vestnik* [Bulletin of Moscow State Forest University – Forest Bulletin]. 2014. № 6. P. 216–225.
14. Notov A. A., Gimel'brant D. E., Urbanavichus G. P. *Annotirovannyy spisok likhenoflory Tverskoy oblasti* [The list of lichens and allied fungi of Tver region]. Tver, 2011. 124 p.
15. Notov A. A., Urbanavichus G. P., Gimel'brant D. E., Titov A. N. Additions to flora of lichens of Tver and Moscow provinces [Dopolnenie k likhenoflore Tverskoy i Moskovskoy oblastey]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel biol.* 2008. Vol. 113. Issue 6. P. 78–83.
16. *Spisok likhenoflory Rossii* [A checklist of the lichen flora of Russia]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2010. 194 p.
17. Fadeeva M. A., Kravchenko A. V. The first results of lichen inventory of “Ugra” National Park [Pervye itogi inventarizatsii lishaynikov natsional'nogo parkа “Ugra”]. *Priroda i istoriya Pougor'ya*. Issue 5. Kaluga, 2009. P. 84–90.
18. Arup U., Berlin E. S. A taxonomic study of *Melanelixia fuliginosa* in Europe // *The Lichenologist*. 2011. Vol. 43. № 2. P. 89–97.
19. Arup U., Søchting U., Frödén P. A new taxonomy of the family Teloschistaceae // *Nordic Journal of Botany*. 2013. Vol. 31. P. 16–83.
20. Muchnik E., Wilk K., Vondrák J., Frolov I. Contribution to the knowledge of the genus *Caloplaca* in Central European Russia // *Polish Botanical Journal*. 2014. Vol. 59. № 2. P. 263–270.
21. Vondrák, J., Říha P., Redchenko O., Vondrákova O., Hrouzek P. et Khodosovtsev A. The *Caloplaca crenulata* species complex; its intricate taxonomy and description of a new species // *The Lichenologist*. 2011. Vol. 43. № 5. P. 467–481.

Поступила в редакцию 31.05.2016

НАТАЛЬЯ АНАТОЛЬЕВНА СИДОРОВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры неврологии, психиатрии и микробиологии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vanlis@petsu.ru

АЛИСА ДЕНИСОВНА КРАВЦОВА

магистр эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
alisa.kravtcova@gmail.com

ЛЮДМИЛА АЛЕКСАНДРОВНА СЕРГИЕНКО

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

ЕВГЕНИЯ ФЕДОРОВНА МАРКОВСКАЯ

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
botanika@petsu.ru

МИКРОБИОЦЕНОЗЫ ПРИМОРСКИХ СООБЩЕСТВ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БЕЛОГО МОРЯ*

Обобщены результаты комплексных исследований микробиоценозов приливно-отливной зоны западного побережья Белого моря. Дана общая первичная характеристика микробиоты литорали: таксономическая характеристика наиболее распространенных видов микроорганизмов, численные характеристики их основных групп в зависимости от особенностей организации литорали и уровня загрязнения за счет стоков со стороны суши. Обосновано использование состояния прибрежной акватории (супралитораль и литораль) как перспективной территории для разработки системы мониторинга прибрежных экосистем.

Ключевые слова: микробиоценозы, бактерии, литораль, мониторинг, Белое море

ВВЕДЕНИЕ

Всесторонний интерес к природным сообществам Белого моря продиктован многими причинами, в том числе возрастающим антропогенным прессом, меняющимся климатом и территориальной уникальностью. Белое море отличается от других полярных морей обширной зоной мелководий и специфическим гидрологическим режимом. Западное побережье имеет ряд особенностей, выделяющих его среди остальных территорий: заливы, бухты и заводи характеризуются специфической мезо- и микрогидродинамикой и формируют множество локальных ниш [2]. Несмотря на огромный фактический материал, накопленный к настоящему времени по состоянию морских и отчасти прибрежных экосистем Белого моря, отдельные компоненты природных сообществ Белого моря остаются слабоизученными. Это касается фототрофного комплекса супралиторали и литорали и связанными с ними совокупностями популяций разных видов микроорганизмов, обитающих в этих биотопах. К особенностям прибрежной зоны как буфер-

ной, экотонной зоны на стыке суша – море относится нестабильность условий: дважды в сутки происходит смена наземно-воздушной среды на водную, когда для обитающих в почвенном слое микроорганизмов аэробные условия сменяются на анаэробные. Известно, что на приморских территориях обитают разные формы микроорганизмов, как по типам метаболизма, так и по их экологическим особенностям [7]. Для прибрежной зоны особенно важно наличие факультативных микроорганизмов, сочетающих разные метаболические пути. Это свободноживущие в почвенном слое (ризосфера) или ассоциированные с корнями прибрежных растений микроорганизмы (ризоплана), которые являются неотъемлемым звеном любых экосистем, участвуют в процессах самоочищения водоема и имеют приоритетное значение для поддержания его гомеостаза. К настоящему времени известны работы, посвященные комплексу абиотических и биотических факторов, определяющих численность микроорганизмов в море [20], [25]. Согласно данным И. В. Перетрухиной [10], А. С. Саввичева,

И. И. Русанова, И. Т. Байрамова, С. А. Волошина [11], количество одноклеточных в Белом море может достигать 5×10^5 – 6×10^6 кл/мл и более. Описана высокая биохимическая активность прокариот в условиях арктических территорий [9], доказана их способность к синтезу экзоферментов [24]. Изучены некоторые количественные показатели бактерий Белого моря [4], [14], обоснована их роль в аноксигенном и оксигенном фотосинтезе [7], а также в деструкции органического вещества морского и терригенного происхождения [11]. Имеются данные по характеристике эпифитизма, свойственного микроорганизмам как наземных, так и водных растений [18], [21]. Однако при высокой значимости микроорганизмов для экосистемы Белого моря до сих пор отсутствуют единые методы учета свободноживущих и эпифитных бактерий, учитывающие специфику северных морей [10], [22], [23]. Остается открытым вопрос об их систематическом и метаболическом многообразии, экологическом приуроченности и пространственном распределении на территориях, различающихся природными особенностями и антропогенной трансформацией биома.

Цель настоящей статьи заключается в первичной таксономической характеристике наиболее распространенных видов микроорганизмов, обитающих в составе микробиоценозов трех фрагментов западного побережья Белого моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор проб для микробиологического анализа выполнялся в течение летних полевых сезонов 2013–2014 годов на прибрежной зоне в трех точках на западном побережье Белого моря, различающихся по геоморфологическому строению берега и его положению по отношению к открытой акватории моря, по экспозиции склона, литологическому составу основных пород, механическому составу почвогрунтов, степени загрязнения и размерам прибрежной зоны. На всех исследуемых территориях с разной степенью участия присутствовали доминантные виды прибрежных экотопов беломорского побережья – подорожник морской, триостренник морской, астра солончаковая, млечник морской. Во всех районах исследования были заложены разные по продолжительности трансекты, включающие зону литорали и супралиторали. На каждой трансекте выбраны 3 пробные площади (ПП): у линии уреза воды (ПП1), в средней части литорали (ПП2) и у коренного берега (ПП3) на супралиторали. На каждой пробной площади были взяты пробы грунта (по 3 повторности) в местах произрастания доминантных видов растений и в зоне их ризопланы.

1-я точка. Беломорский район, в черте города Беломорска. Место исследования расположено на первично расчлененном и мало измененном волновыми процессами берегу, с типичным

последледниковым характером сглаженности ландшафта. Скальными породами сложены супралитораль и верхний горизонт литорали. Микрорельеф неоднородный, с сильно затопляемым ваттовым участком литорали. На берегу выше супралиторали расположены хозяйственные строения, в радиусе 150–200 м есть грунтовые дороги, в 500 м от берега – асфальтированная дорога. Вблизи места исследования впадает городская речка с высоким уровнем загрязнения. Для гидрохимического режима реки отмечается незначительный дефицит насыщения кислородом, превышение содержания азота аммонийного (1,5 ПДК), ПДК по ХПК, Cu, Fe_{общ}, БПК₅, азоту аммонийному (см.: Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2014 г. / Мин-во по природопользованию и экологии Республики Карелия. Петрозаводск, 2014. 272 с.). Пробы отобраны на трансекте длиной 30 м, которая включает илистую осушку с антропогенным загрязнением из стоков небольшого ручья, имеющего контакт со сточными водами городской больницы.

2-я точка. Беломорский район, поселок Расть-Наволоки в 12 км к северо-западу от Беломорска, его окрестности характеризуются слабым антропогенным загрязнением. Побережье сложено монолитными выходами скальных пород (гранитогайсов, гнейсогранитов) и характеризуется наличием заиленных и песчаных участков. Место исследования – эстуарная зона шириной 180 м, включает небольшое устье ручья, расширенное в сторону моря. Центральная часть марша – слабозаиленная депрессия, заросшая небольшими куртинами приморских растений. У уреза воды расположена песчано-илистая маршевая осушка, окаймленная каменисто-глыбовым валом, высотой до 40–60 см. Длина выбранной трансекты – 180 м.

3-я точка. Лоухский район, окрестности поселка Кереть, отличается минимальным антропогенным загрязнением. Керетская губа представляет собой небольшой залив, который также является эстуарием реки Кереть и характеризуется сложными гидрологическими явлениями. Основные работы были проведены на трансекте в губе Никольская. Губа Никольская является начальной стадией формирования меромиктического водоема, в котором практически отсутствует циркуляция воды между слоями различной минерализации, разделенными так называемым хемоклином, вследствие чего вода нижнего слоя более минерализованная и плотная, чем в верхнем слое. На восточном берегу губы Никольская с отмелым аккумулятивным берегом, субстрат – глина с песком и гравием, была заложена трансекта длиной 60 м.

Для изучения бактериального населения биоценозов в естественных условиях использовалось свойство микроорганизмов прикрепляться

и расселяться по поверхности погруженных в почву и воду предметов [5]. Способность микроорганизмов к адгезии является основой метода обрастания стекол по Н. Г. Холодному, который применялся с целью определения распространения микроорганизмов, не растущих на обычных и даже на некоторых селективных питательных средах [8]. Стекла помещались в грунт литорали и непосредственно в зону корней прибрежных растений для учета ризосферных микроорганизмов на 1–7 суток в 3–4 повторностях. После окончания экспозиции до камеральной обработки пробы хранились в холодильнике.

Стекла обрастания для исследования микрофлоры закладывали на ПП всех трансект. Количественный учет бактерий, развивающихся в грунте на литорали в местах произрастания растений и на корнях растений в почве около корневой системы растения, проводился согласно рекомендациям Н. Красильникова и Е. Березовой, которые описаны в [16].

Камеральная обработка. Микробиологические исследования выполнялись в течение 2014–2016 годов на базе курса микробиологии и Института высоких биомедицинских технологий ПетрГУ. Бактериоскопический анализ заключался в определении доминирующих морфотипов, отдельные ассоциации фиксировались с использованием микрофотоустановки. Учитывая узкую норму реакции морской микрофлоры, большинство чистых культур выделялось с помощью селективных условий при концентрации NaCl от 2,5 до 3 % в двух модификациях: с добавлением и без добавления хлорида натрия. Бактериальный рост при концентрации NaCl, характерной для морской воды, служил маркером приуроченности микроорганизмов к морской среде обитания. Для изучения морфологических и цитологических особенностей микробных клеток готовили прижизненные и фиксированные препараты, окрашенные по Граму и Пешкову [15]. С помощью иммерсионного объектива микроскопа «Motic» при 90× увеличении проводилась первичная идентификация исследуемых видов бактерий. С использованием препарата «висячая капля» при 40× увеличении микроскопа оценивалась способность клеток к движению.

В качестве диагностических признаков видов использовалась биохимическая активность микроорганизмов: наличие фосфолипаз, геминных катализ, протеаз и гемолизина. Лецитовитилазная активность бацилл учитывалась на желточно-солевом агаре (ЖСА) по феномену опалесценции питательной среды вокруг колоний *Bacillus cereus*, возникающему под действием фосфолипазы данного вида бацилл. Фосфолипаза контролирует расщепление лецитина яичного желтка до жирных кислот и фосфохолина и является важным диагностическим признаком *Bacillus cereus* [12]. Наличие катализ учитывалось

в реакции с 3 %-ным раствором H_2O_2 по феномену газообразования. Способность гидролизовать крахмал оценивалась с помощью обработки агаровой пластинки раствором Люголя. Реакция считалась положительной, если среда, содержащая крахмал, окрашивалась в синий цвет, а зона гидролиза оставалась бесцветной [13]. На среде Хью-Лейфсона оценивалась способность бактерий окислять глюкозу до глюконовой кислоты в аэробных условиях. Для этого использовались два пробирочных варианта среды: 1-й вариант содержал слой стерильного вазелинового масла («анаэробная пробирка»), 2-й вариант не содержал вазелинового масла («аэробная пробирка»). При положительной реакции наблюдалось изменение цвета среды во 2-м варианте [3]. Гемолитическая активность микроорганизмов оценивалась на 5 %-ном кровяном агаре (КА) по феномену гемолиза, который наблюдался через 24 ч. вокруг колоний бактерий, обладающих способностью к синтезу гемолизина. Для анализа таксономического разнообразия актиномицетов использовалась среда Гаузе, азотфиксаторов – среда Виноградского, протеолитических микроорганизмов – среда Ваксмана, а для выделения целлюлозолитиков – среда Гетчинсона – Клейтона. Определение сульфатредукторов хемоорганогетеротрофов и хемолитогетеротрофов с механизмом окисления органических кислот до ацетата и окисления ацетата до CO_2 осуществлялось на среде Ван-Дельдена. Культивирование проводилось в анаэробных условиях в высоких пробирках с резиновыми пробками. Использовались три варианта среды с разными источниками углерода: ацетатом, цитратом и глюкозой. Фрагменты растений помещались в среду, которая термостатировалась при 21 °C в течении 48 ч. Присутствие сульфатредукторов учитывалось по почернению среды за счет накопления H_2S . Таксономический анализ бактерий проводили с использованием определителя Берги [19], девятое издание.

Все данные по видовому составу микроорганизмов рассматривались в целом для трансекты и включались в общую статистическую обработку. При анализе количественного распределения видов в местах отбора проб рассчитывалась ошибка среднего. Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ MS Excel и PAST3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из 41 образца грунта литорали и корней макрофитов, отобранных в районе города Беломорска (17 проб), поселка Расть-Наволоки (12 проб) и губы Никольской (12 проб), выделено и идентифицировано 5 родов микромикетов: *Penicillium*, *Mucor*, *Fusarium*, *Alternaria*, *Trichoderma*, – и 132 вида бактерий, отнесенных к 34 родам и 6 типам. Выделенные культуры соответствовали трем составляющим прибрежной экосистемы на литора-

ли – водной микрофлоре, почвенной и эпифитной микрофлоре. На всех станциях отбора проб доминировали *Proteobacteria*, преимущественно классов α -, β - и γ -*Proteobacteria*, а также бактерии филогенетической группы *CFB* (*Cytophaga* – *Flavobacterium* – *Bacteroidetes*). Максимальное количество родов бактерий (20) отнесено к микрофлоре грунта литорали Беломорска (рис. 1), а минимальное (12) к микрофлоре грунта литорали Никольской губы (рис. 3). В составе микрофлоры грунта, отобранного в районе пос. Расть-Наволоок, описано 19 родов бактерий (рис. 2). По совокупности морфофизиологических признаков доминировали сапротрофы с повышенным содержанием миколовых кислот в клеточной стенке (*Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Nocardia*). Близкое соотношение родов на 2 территориях Беломорского района может быть связано с антропогенной составляющей, которая и индуцировала дополнительный блок биоразнообразия. Доля окислительных и анаэробных фототрофов составила 9,2 %, хемолитотрофов – 9,7 %, целлюлозолитиков – 13,9 %, протеолитиков – 8,9 %, углеводородокисляющих бактерий (в симбиозе с растениями) – 12,7 %, сульфатредукторов – 11,2 %, серных бактерий *Beggiatoa*, окисляющих восстановленные соединения S, – 9,3 %, свободноживущих и ризосферных азотфиксаторов – 11,4 % и 13,4 % соответственно (табл. 1–4). Все выделенные группы оказались почти равномерно представленными. Качественное и количественное разнообразие выделенных целлюлозолитических, протеолитических и углеводородокисляющих групп бактерий представлено в табл. 1. Более высокие значения численности по целлюлозолитическим и протеолитическим бактериям получены на приморской территории около Беломорска, что также может быть связано с уровнем загрязнения и большими значениями субстратов для жизнедеятельности этих бактерий. Их численность значительно меньше на двух других территориях, но около п. Расть-Наволоок выше, чем в губе Никольской. Другая зависимость прослеживается для такой группы, как углеводородокисляющие бактерии, численность которых выше в губе Никольской, где основным субстратом их жизнедеятельности является естественный субстрат, вырабатываемый растениями приливно-отливной зоны, которые находятся с ними в симбиозе. Следует отметить, что углеводородокисляющие бактерии на всех станциях отбора проб формировали ассоциации исключительно в симбиозе с корнями прибрежных растений. Эти результаты дают основание для предположения, что высокий уровень загрязнения ингибирует симбиотические связи.

Количество бактерий рода *Beggiatoa* изменялось от 82 КОЕ/мл (Беломорск) до 274 КОЕ/мл (Расть-Наволоок) (табл. 3). Представители рода способны синтезировать углеводы из углекис-

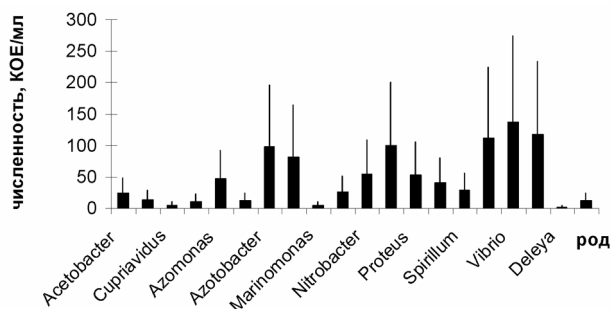


Рис. 1. Количественное и качественное разнообразие микробиоты на побережье (г. Беломорск)

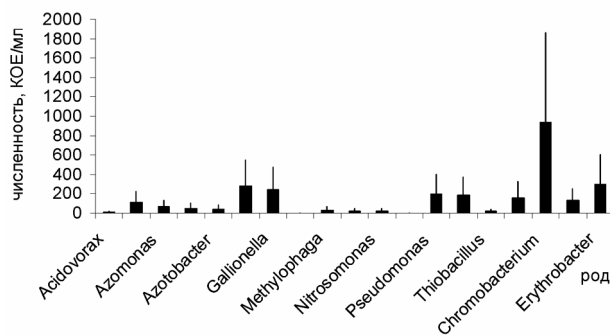


Рис. 2. Количественное и качественное разнообразие микробиоты на побережье (п. Расть-Наволоок)

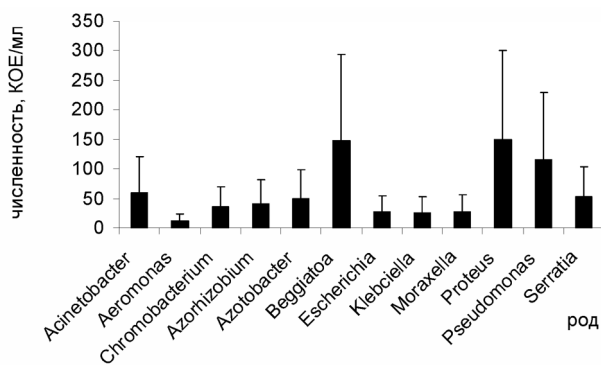


Рис. 3. Количественное и качественное разнообразие микробиоты на побережье (Никольская губа)

лого газа и воды с использованием энергии из неорганических соединений и, как правило, активно размножаются в загрязненных морских условиях, формируя белый нитевидный мат на поверхности воды. Эта группа бактерий оказалась с максимальными значениями численности на литорали около Расть-Наволока. Меньшие значения в губе Никольской можно связать с более низкими значениями антропогенного загрязнения, но еще более низкие значения в Беломорске свидетельствуют о существовании кроме загрязнения других факторов, которые участвуют в жизнедеятельности этой группы бактерий. Это может быть открытая акватория, где отмечаются более интенсивный обмен на литорали или низкие значения загрязнений, действующих на эту группу бактерий.

Таблица 1

Особенности выделенных групп целлюлозолитических, протеолитических и углеводородокисляющих бактерий

Культуральные признаки	Численность, КОЕ/мл			Наличие каталазы	Подвижность	Тип клеточной стенки/ Морфотип
	Беломорск	Расть-Наволоок	Губа Никольская			
Целлюлозолитические бактерии						
1. Мелкие матовые колонии	63	11	5	+	–	Гр(-)/палочки
2. Мелкие белые колонии	47	16	13	–	–	Гр(-)/палочки
Протеолитические бактерии						
1. Крупные белые матовые колонии	11	9	4	+	–	Гр(-)/палочки
2. Крупные белые глянцевые колонии	53	7	3	+	–	Гр(-)/палочки, эндоспores
3. Мелкие белые матовые колонии	16	5	0	+	–	Гр(-)/палочки
4. Мелкие кремовые колонии	23	3	0	+/-	+	Гр(-)/палочки
Углеводородокисляющие бактерии в симбиозе с макрофитами						
1. Крупные матовые колонии	17	6	39	+	–	Гр(-)/палочки
2. Крупные белые колонии	42	12	27	+	–	Гр(-)/палочки
3. Точечные (карликовые) колонии	59	36	42	+	–	Гр(-)/палочки

Особенности роста сульфатредукторов на среде Ван-Дельдена

Таблица 2

Состав среды Ван-Дельдена	Численность, КОЕ/мл			Морфотип
	Беломорск	Расть-Наволоок	губа Никольская	
1. С цитратом	34	54	26	Палочки
2. С ацетатом	11	27	11	Палочки, нити
3. С глюкозой	9 + CO ₂	14	4	Палочки

Особенности бактерий рода *Beggiatoa*, окисляющих восстановленные соединения серы

Таблица 3

Культуральные признаки	Численность, КОЕ/мл			Наличие каталазы	Подвижность	Морфотип
	Беломорск	Расть-Наволоок	губа Никольская			
Матовые слизистые образования на поверхности твердых субстратов	82	274	147	+	Скользящее движение	Гетерогенная группа, образуют трихомы до 30 мкм в длину и гормогонии

Особенности азотфиксаторов

Таблица 4

Формы	Численность, КОЕ/мл			Морфотип
	Беломорск	Расть-Наволоок	губа Никольская	
1. Свободноживущие	41	27	12	Гр (+), эндоспores кластридального типа
2. Ризосферные	256	104	68	Гр (+), эндоспores кластридального типа

В элективных условиях для азотфиксаторов выделены в чистую культуру две формы бактерий: свободноживущие – в количестве 80 КОЕ/мл и ризосферные – в количестве 428 КОЕ/мл (табл. 4). По морфотипу и тинкториальным признакам выделенные микроорганизмы отнесены к анаэробным грамположительным палочкам, способным к спорообразованию кластридального типа. Анализ показал, что ризосферных (симбиотических) азотфиксаторов почти в 4–5 раза больше, чем свободноживущих форм на всех

исследуемых территориях. Эта закономерность хорошо известна и для наземных экосистем. Наибольшее количество азотфиксаторов (свободноживущих и ризосферных) отмечено на пробных площадях приморской территории в Беломорске, в Расть-Наволоке их меньше в 2,3 раза, а в губе Никольской в 3,7. Соотношения ризосферных/свободноживущих бактерий-азотфиксаторов показали, что в Беломорске симбиотических (ризосферных) организмов больше в 6,2 раза, в Расть-Наволоке в 4 раза, а в губе Никольской

в 5,7 раза. Более высокий процент свободноживущей азотфиксирующей микробиоты в п. Расть-Наволок, возможно, связан с субстратом, который на литорали представлен заиленными участками – хороший субстрат для этой группы организмов. Согласно данным А. И. Коврижных [6], прижизненное выделение макрофитами большого количества легкоразлагаемых органических веществ и их освобождение в процессе отмирания растений создают оптимальные условия для обильного развития сапрофитной микрофлоры в составе ризосферы и обуславливают таксономическое разнообразие бактерий. В составе ризосферной микрофлоры описаны 3 группы микроорганизмов: аэробные гетеротрофы, сульфатредукторы и азотфиксаторы, распространение которых зависело от вида растений. В этой группе организмов по морфологическим и тинкториальным признакам доминировали грациликутные бактерии, которые на агаризованных средах давали матовые колонии различных форм и размеров. Однако в полевых условиях приливно-отливной зоны эти колонии неустойчивы, они могут легко и быстро перемещаться в пространстве и становиться субстратом не только для симбиотических, но и свободноживущих бактерий. Этот процесс активизируется при участии приливно-отливной динамики на приморских побережьях. В нашем исследовании было показано, что выделенные анаэробные азотфиксаторы можно отнести к кластридиальному типу. Из литературы известно, что и в наземных экосистемах среди свободноживущих азотфиксирующих микроорганизмов существенное место занимают анаэробные бактерии рода *Clostridium* [17]. В работах Х. Зимни [27], [28] и И. Х. Войнова-Райкова [25] показано, что на численность и видовой состав бактерий рода *Clostridium* оказывает сильное влияние тип почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что для западного побережья Белого моря характерно большое разнообразие микробиоты (бактерий, микромицет), которое имеет широкий спектр самых различных приспособлений. Этот результат отражает особенности побережья, которое имеет специфические ландшафтные и динамические гидрометеорологические характеристики и включает многочисленные эстуарные участки,

которые связывают речные устья крупных рек Карелии (Выг, Кемь, Кереть) с открытым морем и водами Ледовитого океана. Особенностью этой территории является ее нестабильность, где «взаимодействие между живыми организмами и средой обитания изменяется в десятки, если не сотни раз быстрее, чем на остальном пространстве суши и воды» [1]. На приморских территориях дважды в сутки создаются анаэробные условия, при которых высокая активность анаэробных азотфиксаторов, поставляющих азот растениям, может стимулировать их функциональную активность. Однако и растения, имеющие подводный фотосинтез, высокая активность которого у высших сосудистых растений приливно-отливной зоны в период заливания сейчас активно обсуждается [22], могут стимулировать активность аэробной группы микробиоты. Эти взаимосвязи могут оказывать значимое корректирующее воздействие на жизнедеятельность биоты в условиях приливно-отливной динамики.

Указанные особенности дают основание для предположения, что в этих условиях могут доминировать не облигатные, а скорее факультативные микроорганизмы, активность которых может переключаться в ответ на контрастные изменения не только при смене сред (наземно-воздушная и водная), но и при ритмичных ежесуточных изменениях факторов среды. Сигнальные механизмы, включенные в ответные реакции этого ритмичного воздействия, могут представлять самостоятельный интерес.

Выявленное разнообразие и обилие бактерий и низших грибов в составе микробиоценозов приморских сообществ западного побережья Белого моря представляет большую теоретическую и практическую значимость. Полученные в настоящей работе данные о высокой чувствительности микробиоты приморской территории к антропогенному загрязнению (со стороны суши) свидетельствуют о перспективе использования этой территории для организации мониторинга загрязнения не только со стороны суши, но и со стороны моря. Выявленные закономерности в динамике и разнообразии свободноживущих и эпифитных микробных сообществ в последующих исследованиях позволят более точно прогнозировать изменения в структуре микробиоты, вызываемые как природными, так и антропогенными факторами окружающей среды.

* Работа выполнена при поддержке гранта Государственного задания Министерства образования и науки России (проект № 6.724.2014/к).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А д р о в Н. М. Климатологические основы концепции водных масс океаносферы // Вестник МГТУ. 2006. Т. 9. № 3. С. 458–462.
2. Б е к Т. А. Прибрежная зона в экосистеме Белого моря // Журнал общей биологии. 1990. Т. 51. № 1. С. 116–124.
3. Б ы к о в А. С., В о р о б ь ё в А. А., К р и в о ш е и н Ю. С. Основы микробиологии, вирусологии и иммунологии. М.: Academia, 2001. 85 с.

4. Галкина В. Н. Роль массовых видов животных в круговороте органических веществ в прибрежных водах северных морей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1985. 23 с.
5. Инкина Г. А. Бактерии, ассоциированные с частицами взвеси, и бактериальные микроколонины в воде озер // Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем. Л.: Наука, 1987. С. 80–84.
6. Коврижных А. И. Изучение процессов разложения остатков высшей водной растительности // Водные ресурсы. 1989. № 6. С. 110–115.
7. Лунина О. Н., Саввичев А. С., Кузнецов Б. Б., Пименов Н. В., Горленко В. М. Аноксигенные фототрофные бактерии стратифицированного озера Кисло-Сладкое (Кандалакшский залив Белого моря) // Микробиология. 2014. Т. 83. № 1. С. 90–108.
8. Мельников В. Д., Жвачкина А. А. Водная микробиология / ПетрГУ. Петрозаводск, 1975. С. 19–20.
9. Мишустина И. Е., Щеглова И. К., Мицкевич И. Н. Морская микробиология: Учеб. пособие. Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 1985. С. 179–181.
10. Перетрухина И. В. Гетеротрофный бактериопланктон литорали Кольского залива и его роль в процессах естественного очищения вод от нефтяных углеводородов: Дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2006. 232 с.
11. Саввичев А. С., Русанов И. И., Байрамов И. Т., Волошин С. А. Активность бактериальных процессов цикла серы в прибрежной полосе Кандалакшского залива Белого моря // V научная конференция Беломорской биологической станции МГУ: Материалы. М.: Изд. Беломорской биол. ст. Моск. ун-та, 1999. С. 52–54.
12. Султанов З. З., Кулакова Л. С. Питательная среда для выделения *Bacillus cereus*. Патент № 2201965. 1965. 6 с.
13. Султанов З. З., Кулакова Л. С., Перепелица Л. Г., Абдулганиева С. К. Селективная питательная среда для выделения *Bacillus cereus* // Микробиология. 2004. № 4. С. 74–76.
14. Теплинская Н. Г. Бактериопланктон // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. Т. 1. СПб., 1995. С. 63–78.
15. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. М.: Колос, 1972. С. 27–30.
16. Федоров М. В. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М., 1951. С. 196–203.
17. Шелли Шираджул Ислам. Почвенные анаэробные бактерии рода *Clostridium*: географическое распространение и азотфиксирующая активность: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 24 с.
18. Acinas S. G., Kleras-Seraj V., Hunt D. E. et al. Fine-scale phylogenetic architecture of a complex bacterial community // Nature (G. Brit.). 2004. Vol. 430. № 6999. P. 551–554.
19. Bergey's manual of determinative bacteriology / Ed. by John G. Holt [et al.]. 9th ed. Wiley, 1997.
20. Carlucci A. F., Pramer D. Factors affecting the survival of bacteria in sea water // Appl. Microbiol. 1959. Vol. 7. № 6. P. 388–392.
21. Hempel M., Blume M., Blindow I., Gross E. M. Epiphytic bacterial community composition on two common submerged macrophytes in brackish water and freshwater // BMC Microbiol. 2008. Vol. 8. № 58. P. 558–568.
22. Markovskaya E. F., Kosobryukhov A. A., Morozova K. V., Gulyaeva E. N. Photosynthesis and anatomic-morphological characteristics of sea aster leaves on the Whyte Sea coast // Russian journal of plant physiology. 2015. Vol. 62. № 6. P. 830–836.
23. Poindexter J. S. Oligotrophy: Feast and famine existence // Adv. Microbiol. Ecol. 1981. Vol. 5. P. 63–89.
24. Semenov A. M. Physiological bases of oligotrophy of microorganisms and concept of microbial community // Microb. Ecol. 1991. Vol. 22. № 1. P. 239–247.
25. Vognova-Rafkova J. In the specificity or rhizosphere microflora in Plant microbes relationships. Prague, Czechosl. Acad. Sci., 1963. P. 126–133.
26. Zimny H. Badania nod wystepowanian *Clostridium* u globach lesnych // Ekol. Polska. 1960. P. 311–321.
27. Zimny H. Badania nod wystepowenien *Clostridium* u globach lakowych // Ekol. Polska. 1961. P. 303–311.

Sidorova N. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Kravtsova A. D., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Sergienko L. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Markovskaya E. F., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

MARINE COMMUNITY MICROBIOCOENOSIS OF THE WHITE SEA WESTERN COAST

Research results of the study on microbiocoenosis of the tidal zones of the White Sea western coast are presented. General characteristics of the primary microbiota of the littoral in focus are provided: taxonomic characteristics of the most common types of microorganisms and numerical characteristics of the main groups. All characteristic features are introduced incorporating characteristics of the littoral organization and the level of pollution caused by sewage wastes coming from the main land. The system of coastal waters' management is (supralittoral and littoral) elaborated.

Key words: microbiocoenosis, bacteria, littoral, monitor, White Sea

REFERENCES

1. Adrov N. M. Climatological foundations of the concept of water masses of the ocean sphere [Klimatologicheskie osnovy kontseptsii vodnykh mass okeanosfery]. *Vestnik MGTU*. 2006. Vol. 9. № 3. P. 458–462.
2. Bek T. A. The coastal area in the ecosystem of the White Sea [Pribrezhnaya zona v ekosisteme Belogo morya]. *Zhurnal obshchey biologii* [Journal of General Biology]. 1990. Vol. 51. № 1. P. 116–124.
3. Bykov A. S., Vorob'ev A. A., Krivoshein Yu. S. *Osnovy mikrobiologii, virusologii i immunologii* [Fundamentals of microbiology, virology and immunology]. Moscow, Academia Publ., 2001. 85 p.
4. Gal'kina V. N. *Rol' massovykh vidov zhivotnykh v krugovorote organicheskikh veshchestv v pribrezhnykh vodakh severnykh morey: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [The role of the mass species in the cycle of organic matter in the coastal waters of the northern seas]. Leningrad, Izd-vo LGU, 1985. 23 p.

5. Inkina G. A. Bacteria associated with the suspended particles and bacterial microcolonies in lake waters [Bakterii, assotsiirovannye s chastitsami vzvesi i bakterial'nye mikrokolonii v vode ozer]. *Produksionno-gidrobiologicheskie issledovaniya vodnykh ekosistem*. Leningrad, Nauka Publ., 1987. P. 80–84.
6. Kovrizhnykh A. I. Study of the processes of decomposition of higher aquatic vegetation residues [Izuchenie protsessov razlozheniya ostatkov vysshey vodnoy rastitel'nosti]. *Vodnye resursy*. 1989. № 6. P. 110–115.
7. Lunina O. N., Savvichev A. S., Kuznetsov B. B., Pimenov N. V., Gorlenko V. M. Anoxic phototrophic bacteria of the stratified Kislo-Sladkoe lake (Kandalaksha Bay of the White Sea) [Anoksigennyye fototrofnyye bakterii stratifitsirovannogo ozera Kislo-Sladkoe (Kandalakshskiy zaliv Belogo morya)]. *Mikrobiologiya*. 2014. Vol. 83. № 1. P. 90–108.
8. Mel'nikov V. D., Zhvachkina A. A. *Vodnaya mikrobiologiya* [Water microbiology]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 1975. P. 19–20.
9. Mishustina I. E., Shcheglova I. K., Mitskevich I. N. *Morskaya mikrobiologiya: Uchebnoe posobie* [Marine Microbiology: a tutorial]. Vladivostok, Izd-vo Dal'nevostochnogo un-ta, 1985. P. 179–181.
10. Peretrukhina I. V. *Geterotrofnyy bakterioplankton litorali Kol'skogo zaliva i ego rol' v protsessakh estestvennogo ochishcheniya vod ot neftyanykh uglevodorodov: Dis. ... kand. biol. nauk* [Heterotrophic bacterioplankton of littoral Kola bay and its role in the processes of natural purification of waters from oil hydrocarbons]. Murmansk, 2006. 232 p.
11. Savvichev A. S., Rusanov I. I., Bayramov I. T., Voloshin S. A. The activity of bacterial processes in the sulfur cycle, coastal zone of the Kandalaksha Bay of the White Sea [Aktivnost' bakterial'nykh protsessov tsikla sery v pribrezhnoy polose Kandalakshskogo zaliva Belogo morya]. *V nauchnaya konferentsiya Belomorskoy biologicheskoy stantsii MGU: Materialy*. Moscow, Izd-vo Belomorskoy biol. st. MGU, 1999. P. 52–54.
12. Sultanov Z. Z., Kulakova L. S. *Pitateľ'naya sreda dlya vydeleniya Bacillus cereus. Patent № 2201965* [The nutrient medium for the isolation *Bacillus cereus*. Patent № 2201965]. 1965. 6 p.
13. Sultanov Z. Z., Kulakova L. S., Perepelitsa L. G., Abdulganieva S. K. Selective culture medium for the isolation of *Bacillus cereus* [Selektivnaya pitatel'naya sreda dlya vydeleniya *Bacillus cereus*]. *Mikrobiologiya*. 2004. № 4. P. 74–76.
14. Teplinskaya N. G. Bacterioplankton [Bakterioplankton]. *Beloe more. Biologicheskie resursy i problemy ikh ratsional'nogo ispol'zovaniya*. St. Petersburg, 1995. Vol. 1. P. 63–78.
15. Tepper E. Z., Shil'nikova V. K., Pereverzeva G. I. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on microbiology]. Moscow, Kolos Publ., 1972. P. 27–30.
16. Fedorov M. V. *Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po mikrobiologii* [Guide to practical training in microbiology]. Moscow, Gosudarstvennoe izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy literatury, 1951. P. 196–203.
17. Shelli Shiradzul Islam. *Pochvennyye anaerobnyye bakterii roda Clostridium: geograficheskoe rasprostranenie i azotifiksiruyushchaya aktivnost': Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Soil anaerobic bacteria of the genus *Clostridium*: geographical distribution and the nitrogen-fixing activity]. Moscow, 1985. 24 p.
18. Acinas S. G., Klepac-Ceraj V., Hunt D. E. et al. Fine-scale phylogenetic architecture of a complex bacterial community // *Nature (G. Brit.)*. 2004. Vol. 430. № 6999. P. 551–554.
19. *Bergey's manual of determinative bacteriology* / Ed. by John G. Holt [et al.]. 9th ed. Wiley, 1997.
20. Carlucci A. F., Pramer D. Factors affecting the survival of bacteria in sea water // *Appl. Microbiol.* 1959. Vol. 7. № 6. P. 388–392.
21. Hempel M., Blume M., Blindow I., Gross E. M. Epiphytic bacterial community composition on two common submerged macrophytes in brackish water and freshwater // *BMC Microbiol.* 2008. Vol. 8. № 58. P. 558–568.
22. Markovskaya E. F., Kosobryukhov A. A., Morozova K. V., Gulyaeva E. N. Photosynthesis and anatomic-morphological characteristics of the sea aster leaves on the Whyte Sea coast // *Russian journal of plant physiology*. 2015. Vol. 62. № 6. P. 830–836.
23. Poindexter J. S. Oligotrophy: Feast and famine existence // *Adv. Microbiol. Ecol.* 1981. Vol. 5. P. 63–89.
24. Semenov A. M. Physiological bases of oligotrophy of microorganisms and concept of microbial community // *Microb. Ecol.* 1991. Vol. 22. № 1. P. 239–247.
25. Vognova-Raflikova J. In the specificity or rhizosphere microflora in Plant microbes relationships. Prague, Czechosl. Acad. Sci., 1963. P. 126–133.
26. Zimny H. Badania nod wystepowanian *Clostridium* u globach lesnych // *Ekol. Polska*. 1960. P. 311–321.
27. Zimny H. Badania nod wystepowanien *Clostridium* u globach lakowych // *Ekol. Polska*. 1961. P. 303–311.

Поступила в редакцию 19.10.2016

ТАТЬЯНА ИГОРЕВНА КУТЯВИНАассистент кафедры экологии и природопользования Института химии и экологии, Вятский государственный университет (Киров, Российская Федерация)
*kutyavinati@gmail.com***АННА СЕРГЕЕВНА ОЛЬКОВА**кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Института химии и экологии, Вятский государственный университет (Киров, Российская Федерация)
morgan-abend@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОМУТНИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Проведено комплексное исследование Омутнинского водохранилища (Россия, Кировская область) – типичного небольшого равнинного водоема. Пруд характеризуется антропогенным воздействием металлургического комбината, населенного пункта и культурно-оздоровительных учреждений. Показано, что при сложившемся воздействии с 1773 года за счет высокого коэффициента водообмена (4,4) качество воды остается удовлетворяющим нормативы. При анализе донных отложений выявлена тенденция накопления цинка, свинца и кадмия в приплотинной части, имеющей большую антропогенную нагрузку. По результатам исследования макрозообентоса и расчету индекса Шеннона водоем отнесен к классам грязных и загрязненных. При биотестировании донных отложений острой токсичности не выявлено, отмечена стимуляция биолюминесценции бактериальной тест-системы «Эколюм», что может быть первичной реакцией на сложившееся загрязнение. Наблюдается регулярное цветение водоема, ухудшающее его рыбохозяйственные качества, в том числе за счет снижения концентрации растворенного кислорода.

Ключевые слова: водохранилище, загрязнение, тяжелые металлы, биоиндикация, зообентос, биотестирование

ВВЕДЕНИЕ

Богатство природных водных ресурсов России дополняется искусственными водоемами – прудами и водохранилищами, имеющими важное хозяйственное значение. Большинство водохранилищ нашей страны созданы в начале и середине XX века, следовательно, их возраст более 50 лет. За такой период водные объекты приближаются по гидрохимическим и гидробиологическим показателям к естественным водным экосистемам, а также накапливают за счет интенсивного хозяйственного использования ряд проблем.

Экологическое состояние водохранилищ и прилегающих территорий активно исследуется российскими и зарубежными учеными. Основными проблемами крупных и очень крупных водохранилищ являются возникновение новых экзогенных геологических процессов в пределах береговой зоны вплоть до активизации оползней и увеличения риска землетрясений, затопление территорий с последующим заболачиванием прилегающих участков, ландшафтные и мезоклиматические изменения [15]. Например, Саяно-Шушенское водохранилище ежегодно полностью осушается: ранней весной Верхний Енисей течет в пределах своего природного русла. Эта цикличность препятствует формированию стабильной водной экосистемы, и водохранилище остается на уровне природно-техногенной системы [6].

Средние и малые водохранилища отличаются повышенным риском антропогенного загрязнения, поскольку часто они становятся не только источниками воды, но и приемниками сточных вод, а также поверхностного ливневого стока. Небольшая глубина большинства равнинных искусственных водоемов создает проблему зарастания мелководий высшей водной растительностью, последствиями чего становятся снижение скорости течения и накопление техногенных отложений. Последние, в свою очередь, являются источниками вторичного загрязнения поверхностной воды. Кроме макрофитов, проблемой небольших водохранилищ является летнее цветение, чрезмерное увеличение биомассы одноклеточных водорослей, первоначально вызываемое накоплением биогенных элементов. Такие процессы авторы отмечают как в южных районах страны [4], так и в центральных [7]. Эвтрофикация приводит в большинстве случаев к преобладанию цианобактерий в сообществе фитопланктона [9].

Сбор и анализ научных фактов об экологическом состоянии водохранилищ являются актуальными задачами в природоохранном, хозяйственном и социальном аспектах.

Целью нашей работы стала оценка экологического состояния Омутнинского водохранилища как типичного водоема хозяйственно-рек-

реационного назначения и анализ проблем его эксплуатации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является Омутнинское водохранилище (пруд) Кировской области, образованное путем сооружения земляной плотины на реке Омутная в 1773 году с целью водоснабжения металлургического завода. В административно-территориальном отношении пруд расположен в районном центре Кировской области – городе Омутнинске, в географическом – на северо-востоке Русской равнины в центрально-восточной части Европейской России. Согласно классификациям, по площади водного зеркала [1] Омутнинский пруд относится к категории «небольшие», а по объему¹ – к категории «малые водохранилища». По ландшафтной приуроченности водохранилище лесное, по генезису котловины – русловое долинное, по вертикальной зональности с учетом климатических зон относится к северной климатической зоне, соответствует типу «равнинное». Основные параметры водотока и водохранилища представлены в табл. 1.

Таблица 1
Основные характеристики р. Омутная и Омутнинского водохранилища²

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Величина
1	Нормальный подпорный уровень (НПУ)	м	184,00
2	Уровень мертвого объема (УМО)	м	182,20
3	Отметка форсированного уровня (ФПУ) в половодье 0,1 % обеспеченности	м	184,80
4	Глубина у плотины при НПУ макс.	м	11,0
5	Площадь зеркала водохранилища при НПУ	км ²	9,5
6	Площадь зеркала водохранилища при УМО	км ²	6,1
7	Полный объем водохранилища	млн м ³	32,5
8	Полезный объем водохранилища	млн м ³	17,9
9	Площадь водосбора	км ²	507
10	Длина водохранилища	км	10
11	Ширина водохранилища: средняя максимальная	км км	1,1 2,3
12	Глубина водохранилища: средняя максимальная	м м	3,4 11,0
13	Площадь водосбора в створе гидроузла	км ²	507
14	Показатель удлиненности (вытянутости)*	K _y	9,1
15	Среднегодовой сток	млн м ³	143,9
16	Модуль стока*	л/сек.км ²	10,0
17	Коэффициент водообмена*	–	4,4

Примечание. * – показатель удлиненности характеризует отношение длины водоема к его средней ширине; модуль стока – отношение среднегодового расхода воды в водохранилище к площади водосбора; коэффициент водообмена – отношение среднегодового объема стока к полному объему водоема.

Комплекс исследований Омутнинского водохранилища включал анализ сформировавшегося антропогенного воздействия на водоем, его последствий для качества воды, донных отложений и их сообществ. Наблюдения за водоемом, а также отбор проб воды проводили в летне-осенний период с 2011 по 2014 год. В 2015 и 2016 годах исследования были дополнены анализом состояния донных отложений. В работе отражаем выявленные за этот период тенденции и закономерности. Пробы воды отбирали согласно ГОСТ 31861-2012³. Для отбора проб зообентоса использовали трубчатый дночерпатель Мордухай-Болтовского с площадью захвата 1/100 м². Глубина водохранилища в местах отбора проб донных отложений составляла 1,0–2,0 м.

Физико-химический анализ проводили на базе аккредитованной научно-исследовательской эко-аналитической лаборатории ВятГУ, менеджмент качества которой обеспечивает получение данных с заданными диапазонами погрешности. В воде определяли общие и суммарные показатели качества согласно [5], [16]. В донных отложениях определяли содержание соединений тяжелых металлов (ТМ), а также состав макрозообентоса.

Для характеристики сообществ донных беспозвоночных применяли показатели: число таксономических групп, численность (тыс. экз./м²) и биомассу (мг/м²) беспозвоночных⁴. Для оценки качества воды использованы индексы Вудивисса [20], Гуднайта и Уитлея [18], Балушкиной [2]. Оценка качества воды по показателям биотического индекса Вудивисса и олигохетного индекса Гуднайта и Уитлея проводилась согласно ГОСТ 17.1.3.07–82⁵.

Токсикологические анализы воды и донных отложений проводили по аттестованным методикам, оценивая смертность низших ракообразных *Daphnia magna* Straus⁶, двигательную активность инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg⁷, биолюминесценцию бактериальной тест-системы «Эколюм»⁸.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ антропогенного воздействия. На водосборной площади пруда располагается город Омутнинск (рис. 1) с численностью населения более 22 тыс. человек. В городе функционируют предприятия черной металлургии, пищевой промышленности, деревообрабатывающего производства. Градообразующее предприятие города – АО «Омутнинский металлургический завод» (АО «ОМЗ»).

Омутнинское водохранилище используется для промышленного водоснабжения металлургического завода, осуществления санитарного и сезонного регулирования стока, в рекреационных целях. По гребню плотины проходит магистральная транспортно-пешеходная улица районного значения г. Омутнинска. Из литературных

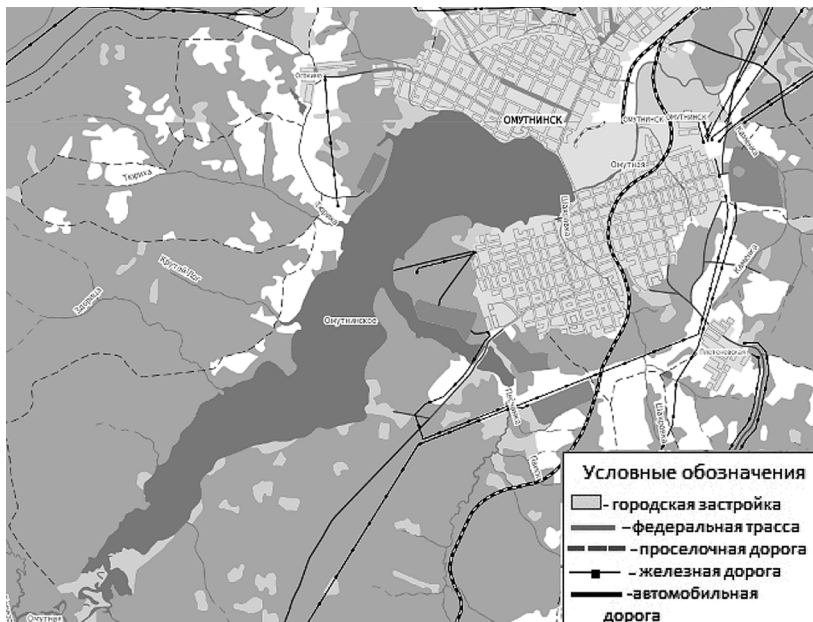


Рис. 1. Схема расположения Омутнинского водохранилища. Составлена на основе данных интернет-ресурса <https://www.google.ru/maps>

источников известно, что выбросы предприятий металлургии загрязняют пресноводные водоемы соединениями тяжелых и редкоземельных металлов [8].

Водохранилище имеет высокий индекс вытянутости, поэтому различные части водоема и примыкающих территорий отличаются по антропогенной нагрузке. Верховье пруда нагружено в меньшей степени, используется местным населением для целей рекреации и рыболовства. Берега водоема в центральной части активно используются садоводческими обществами, а также на этих участках располагаются детский оздоровительный лагерь и два санатория. Приплотинная часть имеет наиболее высокую степень антропогенной нагрузки: берега используются под жилую и хозяйственную застройку, по гребню плотины Омутнинского пруда проходит транспортно-пешеходная улица районного значения г. Омутнинска.

При визуальных маршрутных наблюдениях за водохранилищем и его берегами захламления берегов не выявлено. В 2012 году берега приплотинной части были отсыпаны шлаком металлургического завода. Искусственные насыпи погружены в воду, что создает возможность миграции наиболее подвижных элементов в воду. Кроме того, ежегодно отмечается цветение водоема в его приплотинной части: оптическая плотность воды, отобранной у поверхности (0,3 м), варьировала в пределах 0,15–0,22 при измерении в кювете шириной 1 см при длине волны 615 нм.

Результаты гидрохимических анализов воды. За период наблюдений (2011–2014 годы) по основным гидрохимическим показателям превышения нормативов фиксировались только по

содержанию железа от 1,2 до 3,8 ПДК, а также по показателю химического потребления кислорода (ХПК) (табл. 2). Высокое содержание железа свойственно водоемам таежной зоны и связано с геохимическими особенностями литогенной основы и промывным почвенным режимом [13], [17]. Бихроматная окисляемость по результатам большинства измерений приближается к ПДК (30 мг О/дм³) с пиком в 63 мг О/дм³. ХПК напрямую связано с поступлением в воду органических веществ, что связано с хозяйственно-коммунальными антропогенными источниками.

Несмотря на многолетнюю работу металлургических предприятий, превышений установленных нормативов для тяжелых металлов (меди кадмия, свинца) не выявлено.

В средней части водохранилища периодически отмечается повышенное содержание ионов аммония до 1,14 мг/дм³, тогда как в верховье и нижней части водоема показатель не превышал 0,56 и 0,53 мг/дм³ соответственно. Источником является лечебно-оздоровительный профилакторий «Металлург», сбрасывающий сточные воды в пруд.

Повышенное содержание биогенных элементов, рост ХПК и, соответственно, органических веществ, вероятно, становится причиной периодического цветения водоема. Чаще всего цветение водоемов вызывают цианобактерии из родов: *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Nodularia*, *Gloeotrichia* и др. [14] Этот процесс опасен не только снижением содержания растворенного кислорода в процессе окисления органической массы, но и тем, что цианопрокариоты быстро утилизируют неорганические формы азота, выделяя при этом цианотоксины [12].

Таблица 2

Средние значения концентраций загрязняющих веществ и химических показателей в Омутнинском водохранилище в 2011–2014 годах

Компоненты, единицы измерения	Верховье	Средняя часть	Приплотинная часть	ПДК
Ион аммония, мг/дм ³	0,49	0,65	0,48	1,5 по азоту
Нитрит-ион, мг/дм ³	0,026	0,025	0,028	3,3
Нитрат-ион, мг/дм ³	0,97	1,04	1,47	45
Фосфат-ион, мг/дм ³	<0,2	<0,2	<0,2	3,5
Сульфат-ион, мг/дм ³	2,95	3,63	3,26	500
Калий, мг/дм ³	0,57	0,49	0,45	50
Натрий, мг/дм ³	3,08	2,95	2,40	200
Кальций, мг/дм ³	12,0	12,2	10,9	–
Магний, мг/дм ³	2,53	2,30	1,94	40
Железо, мг/дм ³	0,67	0,75	0,66	0,3
Медь, мг/дм ³	0,008	0,0010	0,011	1,0
Цинк, мг/дм ³	0,010	0,014	0,008	1
Кадмий, мг/дм ³	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,001
Свинец, мг/дм ³	0,0026	0,0019	0,005	0,01
ХПК, мг О ₂ /дм ³	35,6	34,5	31,7	30
Растворенный кислород, мг О ₂ /дм ³	6,95	7,50	7,07	–
Цветность, град. цветности	92	80	91	–

Примечание. Жирным шрифтом отмечены превышения ПДК для водоемов культурно-бытового назначения; погрешность всех измерений соответствует требованиям аттестованных методов.

Отметим, что в 2012 году введены в эксплуатацию новые очистные сооружения профилактория, и ситуация начала улучшаться. В 2014 году средняя часть пруда уже не отличается по содержанию аммонийного азота от других частей водоема (рис. 2).

Согласно классификации по УКИЗВ⁹, вода Омутнинского пруда относится ко 2-му классу качества и характеризуется как слабо загрязненная. Такая относительно благополучная ситуация на фоне непрерывного антропогенного воздействия объясняется достаточно высоким коэффициентом водообмена, равным 4,4. Это означает, что за год весь объем воды в водохранилище обновляется более 4 раз. Такой водный режим пруда делает возможной его эксплуатацию как в рекреационных и рыболовных целях, так и для использования предприятиями.

Результаты экологической оценки донных отложений. Содержание ТМ в донных отложениях Омутнинского пруда значительно варьиру-

ет на разных участках водохранилища (табл. 3). Проблема нормирования степени загрязнения донных отложений в нашей стране находится на стадии решения, поэтому в качестве условной нормы приводим ПДК для почвы.

Превышений условных нормативов установлено не было. Тем не менее результаты исследований свидетельствуют о наметившейся тенденции возрастания содержания соединений цинка, кадмия и свинца в донных отложениях в направлении от верховьев к приплотинной части пруда, что связано с увеличением техногенной нагрузки в приплотинной части водоема, где, кроме металлургического завода, располагается городская застройка и автомобильная дорога районного значения. Берега в приплотинной части регулярно укрепляют путем отсыпки шлаком. Все перечисленные объекты могут быть источником дополнительного поступления ТМ в воду, а затем и в донные отложения. Кроме того, известно, что скорость течения в русловых и долинных

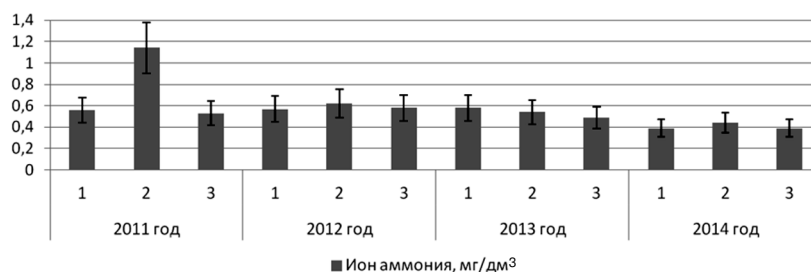


Рис. 2. Содержание ионов аммония в различных участках Омутнинского водохранилища в 2011–2014 годах: 1 – верховье, 2 – средний, 3 – приплотинный участки водоема

Содержание валовых форм тяжелых металлов в донных отложениях Омутнинского водохранилища

Таблица 3

Участок	Содержание, мг/кг						
	Медь	Цинк	Никель	Кадмий	Свинец	Марганец	Железо
Верховье	10,6 ± 2,4	66 ± 22	30 ± 8	0,23 ± 0,06	7,6 ± 1,6	510 ± 120	10500 ± 2600
Центральная часть	11,2 ± 2,6	73 ± 24	31 ± 9	0,25 ± 0,06	7,2 ± 1,5	390 ± 90	9200 ± 2300
Приплотинная часть	9,0 ± 2,1	96 ± 32	21 ± 6	0,30 ± 0,08	8,7 ± 1,8	400 ± 90	9600 ± 2400
ПДК	55	100	85	–	32	1500	–

Примечание. ПДК для почв согласно ГН 2.1.7.2041-06.

водохранилищах уменьшается в направлении к плотине, поэтому в приплотинной их части образуются вторичные отложения наиболее тонкого механического состава, обладающие повышенными аккумуляционными свойствами [3].

В условиях отсутствия нормативов накопления ТМ донными отложениями нами сделана попытка сравнить содержание соединений ТМ в Омутнинском пруду и Чернохолуницком пруду, который также расположен в Кировской области, приближен по гидрологическим показателям к изучаемому водохранилищу, но отличается меньшей антропогенной нагрузкой (рис. 3).

Сравнительный анализ содержания ТМ в донных отложениях двух водохранилищ показывает, что многолетнее непрерывное воздействие на Омутнинский пруд, несмотря на высокий коэффициент водообмена, создает условия антропогенного накопления ТМ.

Методы биодиагностики позволяют оценить эффекты накопленных доз загрязняющих веществ. Среди многочисленных биоиндикационных подходов исследование состояния зообентоса является информативным методом, поскольку организмы бентосного сообщества непосредственно контактируют с донными отложениями.

Средние количественные показатели развития макрозообентоса Омутнинского пруда и состав групп приведены в табл. 4.

Показатели макрозообентоса Омутнинского пруда (1 – доля по численности, %; 2 – доля по биомассе, %)

Таблица 4

Группы зообентоса	Верховье		Средняя часть		Приплотинная часть	
	1	2	1	2	1	2
Hydrida	*	*	–	–	–	–
Nematoda	7,7	2,2	40,6	5,1	2,4	1,0
Oligochaeta	34,9	9,5	–	–	13,4	27,0
Hirudinea	0,8	2,7	–	–	–	–
Heteroptera, lv.	–	–	1,6	4,0	–	–
Trichoptera, lv.	*	*	–	–	–	–
Chironomidae, lv.	56,2	85,6	57,8	90,9	84,2	73,0
Ceratopogonidae, lv.	0,4	0,1	–	–	–	–
Средняя численность, тыс. экз./м ²	23,5		12,8		16,4	
Средняя биомасса, мг/м ²		40,2		19,8		6,3

Примечание. «*» – группа зообентоса найдена в качественных пробах; «–» – группа зообентоса не обнаружена.

В составе зообентоса Омутнинского пруда найдено 8 систематических групп водных беспозвоночных: гидры (Hydrida), круглые черви (Nematoda), малощетинковые черви (Oligochaeta), пиявки (Hirudinea), водяные клопы (Heteroptera),

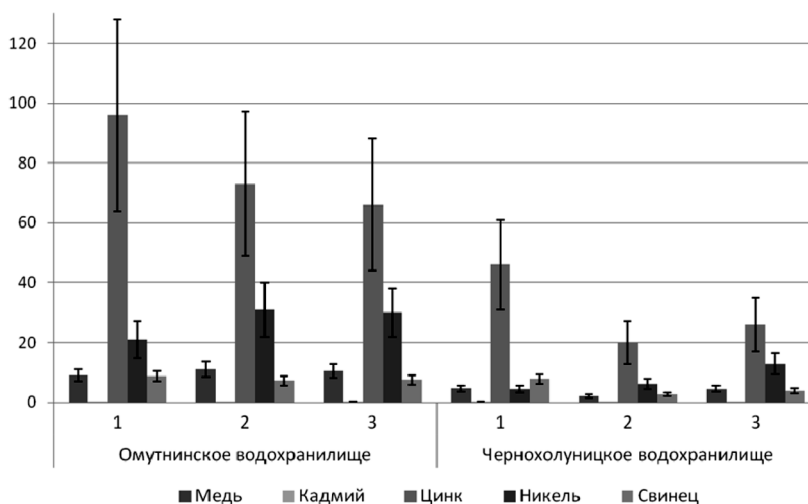


Рис. 3. Сравнение накопления ТМ в Омутнинском водохранилище и Чернохолуницком пруду: 1 – верховье водохранилищ, 2 – средние части, 3 – приплотинные части

личинки ручейников (Trichoptera), представители семейств двукрылых: комары-звонцы (Chironomidae) и мокрецы (Ceratopogonidae). В верховье пруда отмечено 7 групп, в средней и приплотинной частях – по три группы.

Максимальные значения численности донных беспозвоночных отмечены в верховье пруда (23,5 тыс. экз./м²), минимальные – в средней части (12,8 тыс. экз./м²) (табл. 4). Показатели биомассы снижаются от максимальных значений (40,2 мг/м²), зафиксированных в верховье пруда, до минимальных – в приплотинной части (6,3 мг/м²).

В структуре зообентоса (см. табл. 4) по численности и биомассе доминируют личинки хирономид, причем наибольшая их доля по численности зафиксирована в приплотинной части пруда (84,2 %), по биомассе – в средней части (90,9 %).

Для оценки трофности Омутнинского водохранилища использовали общепринятые расчетные индексы [2], [18], [20], отраженные в табл. 5.

Таблица 5

Результаты оценки по биоиндикационным показателям качества воды Омутнинского водохранилища

Показатель	Верховье	Средняя часть	Приплотинная часть
Биотический индекс Вудивисса, баллы	2	2	2
Индекс Балускиной	6,89	7,18	6,86
Индекс Шеннона, бит/экз.	1,02	1,08	0,73
Олигохетный индекс Гуднайта и Уитлея, %	34,9	40,6	13,4

Анализ зависимости данных гидробиологического анализа от гидрохимического показал наиболее тесную связь олигохетного индекса и содержания в донных отложениях меди ($r = 0,99$). Выявленная прямая корреляционная зависимость, вероятно, связана с тем, что медь является необходимым живым организмам микроэлементом и в накопленных количествах оказывает эффект стимуляции. Ранее нами были показаны такие эффекты и для более высоких уровней загрязнения [16]. В то же время олиго-

хетный индекс находится в тесной обратной зависимости от содержания в воде нитрат-ионов ($r = -0,96$).

В целом по результатам изучения проб зообентоса можно сделать вывод, что в Омутнинском водохранилище отмечается снижение таксономического разнообразия донных беспозвоночных. Единственный представитель индикаторов чистых вод – личинка ручейника, была обнаружена только в одном экземпляре в качественной пробе из верховья пруда. Массовое развитие получают личинки хирономид. Полное отсутствие чувствительных к загрязнению личинок веснянок и поденок [19], низкие показатели индекса Шеннона свидетельствуют о значительной трансформации сообществ донных беспозвоночных пруда. По результатам биоиндикационной оценки воды Омутнинского пруда в основном отнесены к классам грязных и загрязненных.

Кроме биоиндикационного метода использовали три методики биотестирования с использованием тест-организмов разных уровней организации: бактериальную тест-систему «Эколюм», простейших *Paramecium caudatum* Ehrenberg, низших ракообразных *Daphnia magna* Straus. Предварительно перед проведением анализа была установлена чувствительность используемых тест-объектов к стандартным токсикантам в соответствии с требованиями аттестованных методик.

Результаты биотестирования донных отложений представлены в табл. 6.

Донные отложения являются аккумулярующей частью водных экосистем и часто накапливают загрязняющие вещества в концентрациях, значительно превышающих их в водной толще. Эта закономерность наблюдается и в исследуемом водоеме. Однако, согласно проведенному токсикологическому анализу, донные отложения Омутнинского водохранилища являются нетоксичными. Этот факт объясняется тем, что при биотестировании время контакта с тестируемой средой ограничено условиями методики. В то же время предыдущий блок исследований показал очевидное воздействие на естественные популяции, что связано с непрерывным контактом организмов-биоиндикаторов с исследуемой средой.

Таблица 6

Результаты биотестирования проб донных отложений Омутнинского водохранилища

Место отбора пробы	Токсичность			Заключение о токсичности
	Инфузории, Т (у.е.)	Тест-система «Эколюм», Т (у.е.)	Смертность <i>D. magna</i> , %	
Верховье	0,16 I группа	0 (-16,28)* I группа	0	Пробы не оказывают острого токсического действия
Средняя часть	0,15 I группа	0 (-33,52)* I группа	0	
Приплотинная часть	0,04 I группа	0 (-50,21)* I группа	0	

Примечание: * – в скобках указан фактический индекс Т, его отрицательные значения свидетельствуют о стимуляции биолюминесценции.

По тест-системе «Эколюм» выявлена стимуляция тест-функции (табл. 6). Это может быть связано как с наличием биогенных элементов в исследуемых пробах, так и с выявленным накоплением ТМ. Известно, что токсическое действие многих веществ, в том числе ТМ, начинается проявляться со стимуляции жизненных функций.

Отметим, что инфузории и бактерии различной видовой принадлежности высоко чувствительны к соединениям тяжелых металлов [10], [11]. Ответная реакция проявляется на уровне долей ПДК, но при соблюдении важного условия – подвижного состояния элемента. Сорбционно-аккумулирующая деятельность гидробионтов, повышение уровня pH и содержания органических частиц приводят к превалярованию нелабильных форм металлов в водах [8], что снижает показатели токсичности. Такой феномен усложняет биодиагностику, но для экосистемы процесс является фактором устойчивости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованное водохранилище по многим параметрам и происходящим процессам является типичным водоемом нечерноземной полосы России, поэтому полученные данные могут быть использованы для сравнительных характеристик в отношении других прудов и озер.

Отличительной особенностью Омутнинского пруда является высокий коэффициент водообмена, за счет чего имеющее место загрязнение соединениями тяжелых металлов, азота и орга-

ническими веществами практически не отражается на качестве воды. Сложившийся режим эксплуатации привел к выраженной тенденции накопления соединений тяжелых металлов в донных отложениях по сравнению с аналогичным водоемом с меньшей нагрузкой, причем содержание цинка, кадмия и свинца возрастает в направлении от верховьев к приплотинной части пруда.

Среди использованных подходов к биодиагностике состояния пруда наиболее показательным стал метод исследования макрозообентоса. При биотестировании острой токсичности проб донных отложений не выявлено, что является доказательством устойчивости сформировавшихся отложений против миграции из них накопленных загрязняющих веществ.

В итоге основными проблемами эксплуатации Омутнинского водохранилища являются не загрязнение, а цветение водоема, снижающее потребительские свойства воды для целей коммунального хозяйства, рекреации, рыболовства и промышленности. Углубление водоема, его дополнительное зарыбление, а также контроль степени очистки сбрасываемых в пруд сточных вод должны быть первыми шагами к решению данной проблемы. Администрация Омутнинского района Кировской области и управление АО «Омутнинский металлургический завод», изначально заинтересованные в результатах исследования, готовы к таким природоохранным мероприятиям.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ ГОСТ 17.1.1.02–77 Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. М., 1978. 23 с.

² Водохозяйственный паспорт Омутнинского водохранилища / Сост. РОСГИПРОВОДХОЗ. М., 1981. 19 с.; Проект правил использования Омутнинского водохранилища. Т. 1. Проект правил использования водных ресурсов Омутнинского водохранилища. Шифр КВП-13-029. Киров, 2013. 74 с.

³ ГОСТ 31861–2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

⁴ Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 319 с.; Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 239 с.

⁵ ГОСТ 17.1.3.07–82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2010. 10 с.

⁶ ФР 1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: Акварос, 2007. 48 с.

⁷ ФР.1.39.2015.19243. ПНД Ф Т 16.2:2.2-98 (изд. 2015 г.) Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». СПб.: ООО «СПЕКТР-М», 2015. 21 с.

⁸ ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04. Т.16.1:2:3:3.8-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». М.: ООО «Нера-С», 2010. 30 с.

⁹ РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов н/Д, 2002. 55 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А. Б., Салтанкин В. П., Шарапов В. А. Водохранилища. М., 1987. 331 с.
2. Балущкина Е. В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды. Методы биологического анализа пресных вод. Л.: ЗИН АН СССР, 1976. С. 106–118.
3. Буторин Н. В., Зиминова Н. А., Кудрин В. П. Донные отложения Верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 156 с.
4. Грибовский Ю. Г., Нохрин Д. Ю., Торчицкий А. Н., Давыдова Н. А. Результаты комплексного обследования экологического состояния Магнитогорского водохранилища // РЖ «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». 2009. № 1. С. 64–69.
5. Дмитриев М. Т., Казнина Н. И., Пинигина И. А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. М.: Химия, 1989. 368 с.

6. К а л ь н а я О. И., А ю н о в а О. Д. Особенности функционирования Шанагорского плеса Саяно-Шушенского водохранилища и его влияние на экологическое состояние окружающей среды // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12. С. 1452–1462.
7. К а я к и н В. В., Д м и т р и е в а И. Л., Б а б к о в С. А. Комплексная оценка состояния водохранилищ Волжско-Камского каскада по критериям экологической безопасности // *Актуальные проблемы водохранилищ: Тез. докл. Ярославль, 2002*. С. 269–270.
8. Н и к а н о р о в А. М., Ж у л и д о в А. В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 312 с.
9. Н и к а н о р о в А. М., Х о р у ж а я Т. А. Внутриводоемные процессы в крупных водохранилищах юга России (загрязнение, эвтрофирование, токсификация) // *География и природные ресурсы*. 2014. № 2. С. 35–43.
10. О л ь к о в а А. С. Биотестирование в научно-исследовательской и природоохранной практике России // *Успехи современной биологии*. 2014. Т. 134. № 6. С. 614–622.
11. О л ь к о в а А. С., Д а б а х Е. В. Опыт интерпретации результатов биотестирования поверхностных вод при химическом и радиоактивном загрязнении // *Теоретическая и прикладная экология*. 2014. № 3. С. 21–28.
12. П а т о в а Е. Н. Цианопрокариотическое «цветение» водоемов восточно-европейских тундр (флористические и функциональные аспекты) // *Теоретическая и прикладная экология*. 2007. № 3. С. 4–10.
13. П е р е л ь м а н А. И., К а с и м о в Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 730 с.
14. П е т р о с я н В. С., Ш у в а л о в Е. А., Л у х т а н о в В. Т., К у л ь н е в В. В. Предотвращение загрязнения природных водоемов цианотоксинами с помощью микроводоросли *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 // *Экология и промышленность России*. 2015. № 4. С. 36–41.
15. П о д г о р н а я Т. И. Оценка состояния и прогноз изменения окружающей среды под влиянием техногенных воздействий. Хабаровск: Институт архитектуры и строительства ХГТУ, 1997. 37 с.
16. С е м е н о в А. Д. Рыководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 541 с.
17. Т ю л и н В. В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вят. кн. изд-во, Киров. отд-ние, 1976. 288 с.
18. G o o d n i g h t C. J., W h i t l e y L. S. Oligochaetes as indicators of pollution // *Proc. 15th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Eng. Ext.* 1961. Ser. 106. P. 139–142.
19. S r i v a s t a v a V. D. Ephemeroptera larvae as component of aquatic environment and their role as bio-indicator of pollution // *Pesticide Residues Environ. Pollut.: Proc. Nat. Symp., Muzaffarnagar, Oct. 2–4, 1985. Muzaffarnagar, 1986*. P. 206–218.
20. W o o d i w i s s F. S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board // *Chemistry and Industry*. 1964. № 11. P. 443–447.

Kutyavina T. I., Vyatka State University (Kirov, Russian Federation)

Ol'kova A. S., Vyatka State University (Kirov, Russian Federation)

THE PROBLEMS OF EXPLOITATION AND ECOLOGICAL STATUS OF Omutninsk RESERVOIR LOCATED IN KIROV REGION

A comprehensive study of the Omutninsk reservoir located in Kirov region of the Russian Federation was carried out. The water basin in focus can be characterized as a typical small pond of the local flatland. The ecological condition of the pond is affected by the anthropogenic factors caused by the local iron works, the surrounding human settlement, and its recreational zones. It was revealed that the quality of local water meets the necessary standards in spite of the pressure coming from human activity. It is conditioned by the high level of water exchange with the rate of (4,4). The analysis of sediments revealed that a tendency to accumulate zinc, plumbum, and cadmium especially in the part located near the dam is rather strong. The phenomenon is associated with the high level of anthropogenic pressure. According to the study of macrozoobenthos and calculation of Shannon index the reservoir was classified as contaminated and dirty. The bioassay revealed no acute toxicity. A stimulation of bioluminescence of bacterial test system “Ecolum” was noted. This fact was estimated as a primary reaction to local water contamination. The process of regular algae blooming reduced the quality of local fishery. The evident degradation in fishery qualities is also caused by the reduction of oxygen in the content of pond’s water.

Key words: reservoir, pollution, heavy metals, bioindication, zoobenthos, bioassay

REFERENCES

1. A v a k y a n A. B., S a l t a n k i n V. P., S h a r a p o v V. A. *Vodokhranilishcha* [Reservoirs]. Moscow, 1987. 331 p.
2. B a l u s h k i n a E. V. *Khironomidy kak indikator stepeni zagryazneniya vody. Metody biologicheskogo analiza presnykh vod* [Chironomids as indicators of the degree of water pollution. Methods for analyzing freshwater biological]. Leningrad, ZIN AN SSSR Publ., 1976. P. 106–118.
3. B u t o r i n N. V., Z i m i n o v a N. A., K u d r i n V. P. *Donnye otlozheniya Verkhnevolzhskekh vodokhranilishch* [The sediments of Upper Volga reservoirs]. Leningrad, Nauka Publ., 1975. 156 p.
4. G r i b o v s k i y Y u. G., N o k h r i n D. Y u., T o r c h i t s k i y A. N., D a v y d o v a N. A. Results of the comprehensive study of the ecological state of Magnitogorsk Reservoir [Rezultaty kompleksnogo obsledovaniya ekologicheskogo sostoyaniya Magnitogorskogo vodokhranilishcha]. *Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii*. 2009. № 1. P. 64–69.
5. D m i t r i e v M. T., K a z n i n a N. I., P i n i g i n a I. A. *Sanitarno-khimicheskii analiz zagryaznyayushchikh veshchestv v okruzhayushchey srede* [Sanitary and chemical analysis of pollutants in the environment]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 368 p.
6. K a l ’ n a y a O. I., A y u n o v a O. D. Features of functioning Shanagorskogo Reach Sayano-Shushenskoye reservoir and its impact on the ecological state of the environment [Osobennosti funktsionirovaniya Shanagorskogo plesa Sayano-Shushenskogo vodokhranilishcha i ego vliyanie na ekologicheskoe sostoyanie okruzhayushchey sredy]. *Fundamental’nye issledovaniya*. 2014. № 12. P. 1452–1462.
7. K a y a k i n V. V., D m i t r i e v a I. L., B a b k o v S. A. Integrated assessment of reservoirs of the Volga-Kama cascade of ecological safety criteria [Kompleksnaya otsenka sostoyaniya vodokhranilishch Volzhsko-Kamskogo kaskada po kriteriyam ekologicheskoy bezopasnosti]. *Aktual’nye problemy vodokhranilishch: Tezisy dokladov*. Yaroslavl, 2002. P. 269–270.

8. Nikanorov A. M., Zhulidov A. V. *Biomonitoring metallo v presnovodnykh ekosistemakh* [Biomonitoring of metals in freshwater ecosystems]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1991. 312 p.
9. Nikanorov A. M., Khoruzhaya T. A. Internal processes in large reservoirs of southern Russia (pollution, eutrophication, toxification) [Vnutrivodoemnye protsessy v krupnykh vodokhranilishchakh yuga Rossii (zagryaznenie, evtrofirovaniye, toksifikatsiya)]. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2014. № 2. P. 35–43.
10. Ol'kova A. S. Bioassay in research and conservation practice in Russia [Biotestirovaniye v nauchno-issledovatel'skoy i prirodookhrannoy praktike Rossii]. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2014. Vol. 134. № 6. P. 614–622.
11. Ol'kova A. S., Dabakh E. V. Experience in interpreting the results of biological testing of surface waters by chemical and radioactive contamination [Opyt interpretatsii rezul'tatov biotestirovaniya poverkhnostnykh vod pri khimicheskom i radioaktivnom zagryaznenii]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2014. № 3. P. 21–28.
12. Patova E. N. "Flowering" of Eastern European tundra ponds cyanobacteria (floristic and functional aspects) [Tsianoprokariticheskoe "tsveteniye" vodoemov vostochno-evropeyskikh tundr (floristicheskie i funktsional'nye aspekty)]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2007. № 3. P. 4–10.
13. Perelman A. I., Kasimov N. S. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of landscape]. Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999. 730 p.
14. Petrosyan V. S., Shuvalova E. A., Lukhtanov V. T., Kul'nev V. V. Prevention of pollution of water bodies prodny cyanotoxins using microalgae *Chlorella vulgaris* IGF Wc-111 [Predotvrashcheniye zagryazneniya prirodnykh vodoemov tsianotoksinami s pomoshch'yu mikrovodorosli *Chlorella vulgaris* IFR № S-111]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2015. № 4. P. 36–41.
15. Podgornaya T. I. *Otsenka sostoyaniya i prognoz izmeneniya okruzhayushchey sredy pod vliyaniem tekhnogennykh vozdeystviy* [Assessment of the status and forecast changes in the environment under the influence of anthropogenic influences]. Khabarovsk, Institut arkhitektury i stroitel'stva KhGTU Publ., 1997. 37 p.
16. Semenov A. D. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi* [Guidelines for chemical analysis of surface waters]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977. 541 p.
17. Tyulin V. V. *Pochvy Kirovskoy oblasti* [The soils of the Kirov region]. Kirov, Volgo-Vyatskoe knizhnoe izd-vo, Kirov. ot-dnie, 1976. 288 p.
18. Goodnight C. J., Whitley L. S. Oligochaetes as indicators of pollution // Proc. 15th Ind. Waste Conf., Pardue Univ. Eng. Ext. 1961. Ser. 106. P. 139–142.
19. Srivastava V. D. Ephemeroptera larvae as component of aquatic environment and their role as bio-indicator of pollution // Pesticide Residues Environ. Pollut.: Proc. Nat. Symp., Muzaffarnagar, Oct. 2–4, 1985. Muzaffarnagar, 1986. P. 206–218.
20. Woodwils F. S. The biological system of stream classification used by the Trent River Board // Chemistry and Industry. 1964. № 11. P. 443–447.

Поступила в редакцию 29.06.2016

ИЛЬЯ ПАВЛОВИЧ МИСКЕВИЧ

аспирант кафедры биологии факультета биологии и здоровья человека, Череповецкий государственный университет (Череповец, Российская Федерация)
sas1008@yandex.ru

ВИКТОРИЯ ВЛАДИМИРОВНА ПЕТРОВА

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии факультета биологии и здоровья человека, Череповецкий государственный университет (Череповец, Российская Федерация)
barkovskaia@mail.ru

**СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИИ КЛЕЩА ТАЕЖНОГО *IXODES PERSULCATUS*
В ПРЕДЕЛАХ г. ЧЕРЕПОВЦА***

Получены данные о сезонной активности *Ixodes persulcatus* на территории туристско-рекреационного участка «Зеленая роща» в пределах города Череповца Вологодской области. Сбор иксодовых клещей проводился по стандартной методике в апреле – сентябре 2015 года: на маршруте протяженностью в один километр учитывалось количество клещей, собранных с флага и учетчика. В лабораторных условиях определялся вид клещей и их пол. Определение возбудителей инфекций, передающихся иксодовыми клещами, проводилось методом Real Time PCR, набор «АмплиСенс® TBEV, *Borrelia burgdorferi* sl, *Anaplasma phagocytophilum*, *Ehrlichia chaffeensis* / *E. Muris-FL*», на базе лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии в Вологодской области. Состояние популяции *I. persulcatus* на территории «Зеленой рощи» города Череповца характеризуется высокими показателями сезонной активности и значительным уровнем инфицированности иксодид бактериями рода *Borrelia* (70 %). Доля клещей с аномалиями экзоскелета в районе исследования достигает 74 %.

Ключевые слова: Вологодская область, *Ixodes persulcatus*, сезонная активность, аномалии экзоскелета, инфицированность

Вологодская область считается одним из неблагоприятных регионов России по уровню заболеваемости населения трансмиссивными клещевыми инфекциями, прежде всего клещевым энцефалитом и иксодовым клещевым боррелиозом. Природные очаги клещевых инфекций имеются на всей территории области в местах распространения иксодовых клещей [4], [5]. Одним из крупнейших по численности населения и промышленному производству городом Вологодской области является Череповец. Он располагается на левом притоке Волги – реке Шексне при впадении ее в Рыбинское водохранилище (бассейн верхней Волги)¹. В настоящее время в городе проживают более 320 тыс. человек. В Череповце сосредоточены крупнейшие промышленные предприятия: металлургический комбинат, входящий в ОАО «СеверСталь»; комплекс предприятий химической промышленности, входящих в состав российской компании «ФосАгро»: ОАО «Аммофос», «Череповецкий Азот», «Агро-Череповец». Кроме того, в городе имеются предприятия металлообрабатывающей, судостроительной, деревообрабатывающей, текстильной, пищевой и других отраслей промышленности. Череповец характеризуется наличием почти всех видов городского транспорта².

Очагом поддержания клещевых инфекций на территории города Череповца является сохранив-

шийся лесной массив – туристско-рекреационный участок «Зеленая роща» общей площадью 3 713,5 га, расположенный на юго-западной границе города, на левом берегу реки Шексны [3]. С 2007 года территории придан статус особо охраняемой природной территории регионального значения. «Зеленая роща» – это равнинная территория, покрытая древостоем, представленным средневозрастными хвойными и мелколиственными насаждениями. В пределах ее территории сложились благоприятные условия для нормальной жизнедеятельности иксодовых клещей, приводящие к постоянному обновлению их популяции. Это высокая относительная влажность воздуха, обусловленная близостью р. Шексны, а также обилие обитающих здесь мелких млекопитающих и птиц, являющихся прокормителями иксодид. Лесопарковая часть территории имеет большое рекреационное значение.

Целью работы является изучение состояния популяции таежного клеща *Ixodes persulcatus* на территории «Зеленой рощи» города Череповца.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сбор материала по изучению активности *Ixodes persulcatus* проводился с апреля по сентябрь 2015 года. На маршруте протяженностью в один километр учитывалось количество клещей, собранных с флага и учетчика [2]. В каждую декаду

сезона осуществлялось 7–10 ежедневных учетов. Одновременно с помощью регистратора Dickson TH550 измерялась температура лесной подстилки на глубине 1–1,5 см. Иксодовых клещей, отловленных в районе исследования, транспортировали в пробирках типа Эппендорф и в живом виде содержали в холодильнике помещенными во влажный бинт. В лабораторных условиях определялся вид клещей и их пол. Аномалии в строении экзоскелета иксодовых клещей, собранных в районе исследования с 2008 по 2015 год, определялись с использованием схемы типизации аномалий экзоскелета самок и самцов клещей рода *Ixodes* [1]. Определение возбудителей инфекций, передающихся иксодовыми клещами, проводилось методом Real Time PCR, набор «АмплиСенс® TBEV, *Borrelia burgdorferi* sl, *Anaplasma phagocytophilum*, *Ehrlichia chaffeensis* / *E. Muris-FL*», на базе лаборатории Центра гигиены и эпидемиологии в Вологодской области.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В наших сборах встретился только один вид иксодовых клещей – клещ таежный *Ixodes persulcatus*. Начало сезонной активности иксодовых клещей в 2015 году в «Зеленой роще» регистрируется уже в конце апреля (рис. 1). К этому времени снежный покров уже полностью сходит и температура окружающей среды, очевидно, достигает оптимальных значений для начала активной жизнедеятельности *I. persulcatus* (от +7 до +15 °С). Пик активности иксодовых клещей в «Зеленой роще» приходится на первую-вторую декады мая. К июлю активность иксодид значительно снижается, и затем регистрируются лишь единичные случаи. Следует отметить, что единичные находки иксодовых клещей встречались в наших учетах вплоть до сентября.

Нами отмечены отличия в динамике активности самок и самцов *I. persulcatus* района исследования (рис. 2). В начале периода активности

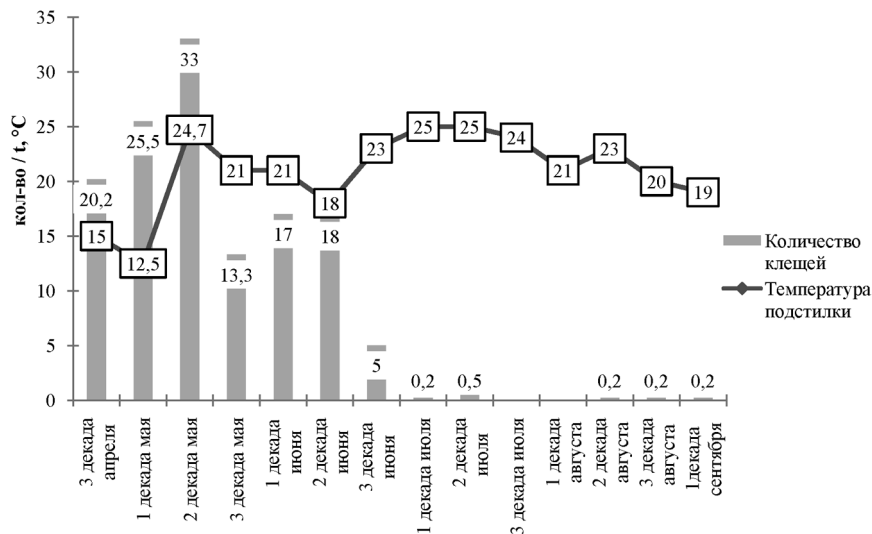


Рис. 1. Динамика активности клеща таежного *I. persulcatus* на маршруте учета в «Зеленой роще» в 2015 году

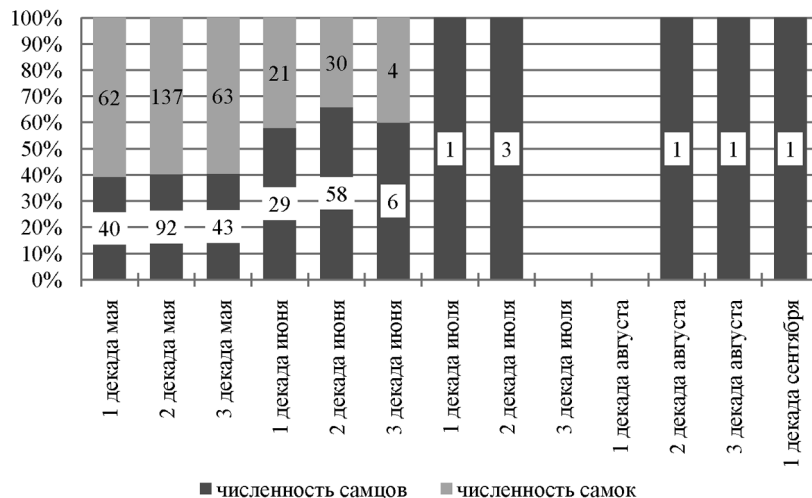


Рис. 2. Сезонная активность самцов и самок *I. Persulcatus* в «Зеленой роще» в 2015 году

численность самок превышает численность самцов в полтора раза, позднее соотношение полов активных иксодид становится обратным. Снижение активности самок, скорее всего, связано с тем, что большая их часть к этому времени уже нашла своих прокормителей. Самцы сохраняют активность весь весенне-летний период в поисках самки для оплодотворения.

Исследование популяции иксодовых клещей «Зеленой роши» позволило выявить наличие в ней двух фенотипически различающихся групп: с аномалиями и без аномалий экзоскелета. Количество тератоморфных клещей в популяции иксодид «Зеленой роши» в разные годы исследований составляло от 21 до 74 % (рис. 3). Увеличение аномальной части популяции клещей, возможно, связано с ростом промышленного загрязнения исследуемой территории. Аналогичный тренд отмечается в мониторинговых исследованиях популяции *I. persulcatus* окрестностей С.-Петербурга [1].

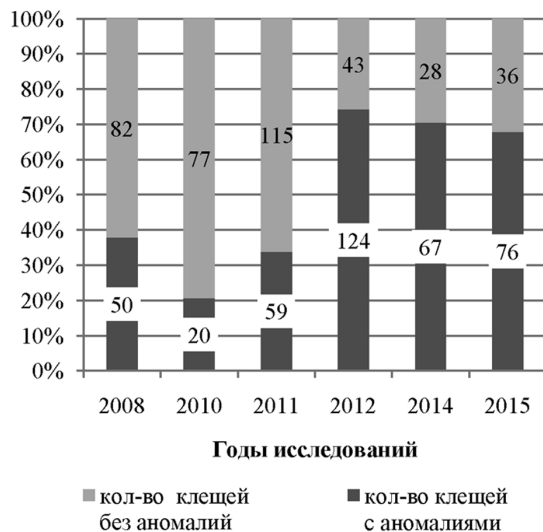


Рис. 3. Соотношение клещей с нормальным и аномальным строением экзоскелета в популяции *I. persulcatus* «Зеленой роши» в различные годы исследований

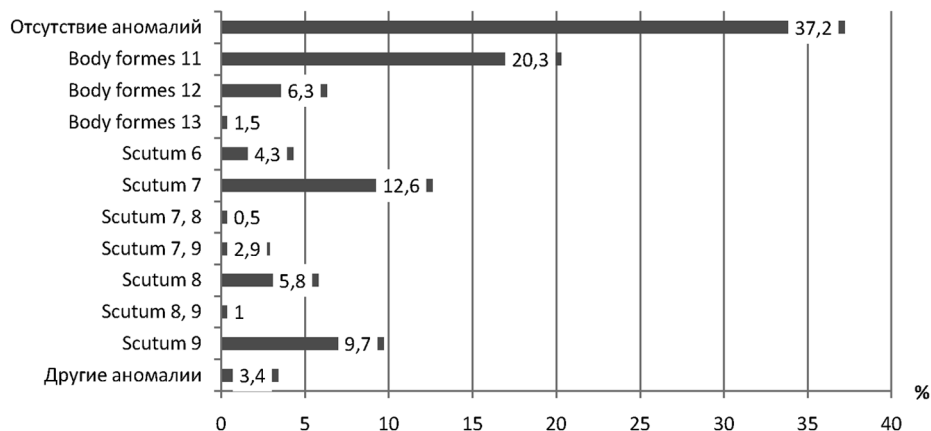


Рис. 4. Соотношение аномалий экзоскелета в выборке *I. persulcatus* (n = 207) в «Зеленой роше» в 2014–2015 годах

А. Н. Алексеев и соавторы выделяют 18 типов аномалий экзоскелета самок и самцов клещей рода *Ixodes*. Так, для самок характерны аномалии гнатосомы в виде недоразвития одной из пальп, объединения поровых полей, углубления в хитиновом покрове щитка, асимметрии тела, аномалии развития полового отверстия. У самцов отмечаются изменения в хитиновом покрове щитка, аномальное развитие конечностей [1].

У клещей, собранных на территории «Зеленой роши», нами было отмечено семь типов тератоморф. Тератоморфы Scutum 7 (двусторонние углубления по цервикальным бороздкам щитка самки), Scutum 9 (сморщенность поверхности щитка самки – «шагреневая кожа»), Body formes 11 (углубления по бокам на нижней части спинного щитка самца) и Body formes 12 (одностороннее углубление на нижней части спинного щитка самца) оказались наиболее распространенными аномалиями экзоскелета иксодид (рис. 4). Аномалии Body forms 13 (двустороннее углубление на нижней части спинного щитка самца), Scutum 6 (односторонние углубления по цервикальным бороздкам щитка самки), Scutum 8 (одиночная вмятина / кратер обычно ниже цервикальной бороздки щитка самки), а также сочетанные аномалии встречались реже. Аномалий гнатосомы и конечностей в популяции клещей «Зеленой роши» нами не отмечено. В своих исследованиях А. Н. Алексеев и соавторы также указывают на более частую встречаемость таких аномалий, как различного рода изменения щитка у самок и самцов иксодид [1].

Доказано, что аномалии экзоскелета клещей связаны с накоплением в их организме тяжелых металлов, замещающих кальций в хитиновом покрове клещей. Накопление тяжелых металлов сказывается на метаболизме иксодид и на увеличении их двигательной активности [1]. Естественно ожидать, что такой клещ с большей вероятностью найдет своего зараженного прокормителя или передаст возбудителей сам. Об этом свидетельствует достоверно более вы-

сокая встречаемость различных инфекций в аномальных клещах разных популяций Вологодской области и окрестностей С.-Петербурга по сравнению с нормальными [1]. В связи с этим высокая доля клещей с аномальным строением экзоскелета в популяции *I. persulcatus* района исследования может свидетельствовать не только о загрязнении среды ионами тяжелых металлов, но и о высокой степени эпидемиологической опасности данной территории по клещевым инфекциям. Нами была исследована небольшая выборка клещей *I. persulcatus* (10 экз.), собранных в мае – июне 2016 года в районе «Зеленой Роши». Клещи исследовались на возможное носительство в них четырех трансмиссивных инфекций. Была выяв-

лена зараженность исследованных клещей только бактериями рода *Borrelia*. Ифицированными оказалось 70 % от общего числа исследованных особей.

Таким образом, состояние популяции *Ixodes persulcatus* на территории «Зеленой роши» города Череповца характеризуется высокими показателями сезонной активности и значительным уровнем инфицированности иксодид бактериями рода *Borrelia*. Наличие тератоморф экзоскелета *I. persulcatus* в значительной степени может служить маркером загрязнения среды тяжелыми металлами и маркером степени эпидемиологической опасности изучаемой территории в отношении трансмиссивных клещевых инфекций.

*Работа поддержана грантом Правительства Вологодской области «Изучение эндемичного очага трансмиссивных клещевых инфекций на территории г. Череповца».

ПРИМЕЧАНИЯ

¹Бюллетень. Состояние окружающей природной среды и организация природоохранной работы в городе Череповце. Вып. № 2. Череповец, 2004 г. 52 с.

²Вологодская энциклопедия. Вологда: ВГПУ: Изд-во «Русь», 2006. 608 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. Н., Дубинина Е. В., Юшкова О. В. Функционирование паразитарной системы «клещ-возбудитель» в условиях усиливающегося антропогенного пресса. СПб., 2008. 146 с.
2. Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. Иксодовые клещи Карелии (распространение, экология, клещевые инфекции). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. 100 с.
3. Петрова В. В. Исследования популяции *Ixodes persulcatus* г. Череповца // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2012. № 4/1. С. 39–41.
4. Радченко Н. М. Экологические основы безопасности жизнедеятельности на территории Вологодской области. Вологда: Издательский дом ВИРО, 2007. 132 с.
5. Рыбакова Н. А., Филоненко И. В., Кузнецов Г. Г. Эколого-паразитический мониторинг в природных очагах инфекций Вологодской области. Вологда, 2003. 52 с.

Miskevich I. P., Cherepovets State University (Cherepovets, Russian Federation)

Petrova V. V., Cherepovets State University (Cherepovets, Russian Federation)

CONDITIONS OF THE TAIGA TICK (*IXODES PERSULCATUS*) POPULATION IN CHEREPOVETS

The research presents some facts on seasonal activity of *Ixodes persulcatus* in the tourist-recreational area of the “Green Grove” in Cherepovets and Vologda Region. A procedure of *Ixodes persulcatus* harvesting was carried out by standard methods during the months of April through September in 2015. The number of ticks collected from the flag and the check-man on the route of one kilometer was taken into account. The types of tick species and their gender were determined in laboratory conditions. The determination of infectious agents was carried out by the Real Time PCR method, kit of “AmpliSens® TBEV, *Borrelia burgdorferi* sl, *Anaplasma phagocytophilum*, *Ehrlichia chaffeensis* / *E. Muris-FL*”. The evaluation was conducted on the basis of the Center of Hygiene and Epidemiology of Vologda Region. Conditions of the population of *I. Persulcatus* in the tourist-recreational area of the “Green Grove” located in the city limits of Cherepovets are characterized by the high seasonal activity and by the high level of infected ixodids. They are infected by *Borrelia bacteria* (70 %). The proportion of ticks with anomalies in exoskeleton of *I. persulcatus* reaches 74 %.

Key words: Vologda Region, *Ixodes persulcatus*, seasonal activity, exoskeleton anomalies, infection

REFERENCES

1. Alekseev A. N., Dubinina E. V., Yushkova O. V. *Funktsionirovanie parazitarnoy sistemy “kleshch-vozbuditel” v usloviyakh usilivayushchegosya antropogennoy pressa* [Functioning of parasitic system “tick-pathogen” in conditions of increasing anthropogenic pressure]. St. Petersburg, 2008. 146 p.
2. Беспятова Л. А., Бугмырин С. В. *Iksodovye kleshchi Karelii (rasprostraneniye, ekologiya, kleshchevye infektsii)* [Ticks of Karelia (distribution, ecology, tick-borne infections)]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2012. 100 p.
3. Petrova V. V. *Population research of Ixodes persulcatus in Cherepovets [Issledovaniya populyatsii Ixodes persulcatus g. Cherepovtsa]. Voprosy normativno-pravovogo regulirovaniya v veterinarii.* 2012. № 4/1. P. 39–41.
4. Radchenko N. M. *Ekologicheskie osnovy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti na territorii Vologodskoy oblasti* [Environmental health and safety bases on the territory of Vologda region]. Vologda, Izdatel'skiy dom Viro Publ., 2007. 132 p.
5. Rybakova N. A., Filonenko I. V., Kuznetsov G. G. *Ekologo-paraziticheskiy monitoring v prirodnykh ochagakh infektsiy Vologodskoy oblasti* [Ecological and parasitical monitoring in natural centers of infection of the Vologda region]. Vologda, 2003. 52 p.

Поступила в редакцию 10.11.2016

УДК 582.251.7

ЕВГЕНИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ ПАВЛОВСКИЙ

студент департамента «Биологический факультет» Института естественных наук, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)
lcvarately@gmail.com

АЛЕКСАНДР ГЕННАДЬЕВИЧ ПАУКОВ

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

ВИДЫ РОДА *PHACUS* (EUGLENOPHYCEAE) В ВОДОЕМАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ г. ЕКАТЕРИНБУРГА

Целью данной работы является идентификация видов рода *Phacus* в водоемах города Екатеринбурга и формирование списка видов в соответствии с современными таксономическими преобразованиями. Сбор проб осуществлялся с использованием планктонной сети по берегам водоемов различных типов в окрестностях г. Екатеринбурга в течение двух вегетационных периодов. При исследовании водоемов г. Екатеринбурга было идентифицировано семнадцать видов и одна разновидность рода *Phacus*. Все обнаруженные виды являются новыми для Среднего Урала. Приведены описания и микрофотографии всех встреченных видов.

Ключевые слова: *Euglenophyta*, *Phacaceae*, *Phacus*, Средний Урал, видовой состав

ВВЕДЕНИЕ

Эвгленовые водоросли занимают изолированное положение среди других групп автотрофных организмов. Они филогенетически близки к кинетопластидам и значительно удалены от других групп эукариот. На территории Российской Федерации специальных исследований фототрофных эвгленид в настоящее время не проводится; сведения о видовом составе, в которых упоминаются эвгленовые, как правило, включены в общие флористические сводки и представлены ограниченным количеством видов. Важность таких исследований продиктована тем, что группа эвгленовых водорослей претерпела масштабные таксономические перестройки с конца XX века. Работы на русском языке в большинстве своем базируются на трудах Т. Г. Поповой [1], [2], и по сей день актуальных среди ведущих мировых специалистов. В настоящее время данные пособия не в полной мере отражают современные таксономические изменения в пределах рода, основанные не только на морфофизиологических признаках, но и на генетических данных [8], [9], [10]. Неравномерная изученность группы эвгленовых на территории Российской Федерации характерна и для Урала – существуют крупные работы по Южному Уралу [5], [6], в то же время Средний и Северный Урал – крайне малоизученные области и представляют наибольший интерес для исследователей.

Клетки представителей рода *Phacus* имеют «жесткую» пелликулу, обычно плоские, листовидной формы, иногда скручены. Хлоропласты

практически идентичны у всех видов рода – плоские, дисковидные, без пиреноидов. Количество хлоропласты настолько многочисленны, что посчитать их практически невозможно. Парамилоновые зерна всегда крупные, легко различимые, в большинстве случаев в форме пластин или колец [11], [12].

Род *Phacus* в базе AlgaeBase насчитывает 565 видов и подвидов, из которых лишь 169 в настоящее время признаны таксономически корректными [7].

Цель данной работы – провести идентификацию видов рода *Phacus* в водоемах города Екатеринбурга и формирование списка видов в соответствии с современными таксономическими перестановками [8], [9], [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы были отобраны в 12 водоемах г. Екатеринбурга и его окрестностей. В трех водоемах были обнаружены представители исследуемого рода:

Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск (56°36'13.5" N 61°03'56.9" E). Истоком реки Исеть является Исетское озеро площадью 24 км², расположенное в 25 км от города Екатеринбурга. Длина р. Исеть – 606 км, площадь бассейна – 59 тыс. км². Сток регулируется плотиной. Река протекает по Свердловской, Курганской и Тюменской областям и имеет 37 притоков, сама же является левым притоком реки Тобол.

Пруд в Харитоновском саду г. Екатеринбурга (56°50'48.8" N 60°36'50.5" E). Искусственный

пруд, был создан в 1826 году на ручье Засухин Ключ, впадающем в реку Основинка. Длина береговой линии – 450 м. Подвергался заболачиванию и антропогенному загрязнению. В настоящее время ежегодно очищается человеком.

Пруд Карасики в г. Екатеринбурге (56°50'58.3" N 60°41'02.0" E). Водоем образован на месте добычи гранита, почвенное дно отсутствует. Площадь и глубина сильно варьируются от количества атмосферных осадков – в их долгосрочное отсутствие суммарный объем воды может уменьшаться до порядка десяти литров. Достаточное количество органических соединений для существования представителей рода, вероятно, объясняется высоким уровнем антропогенного воздействия на водоем.

Исследованная территория располагается в восточных предгорьях Среднего Урала и Зауральской складчатой возвышенности и относится к подзоне южной тайги [3], [4]. Климату региона, как и всему Уралу, свойственны хорошо развитые термические инверсии.

Материалом для данной работы послужили сборы Е. В. Павловского в водоемах г. Екатеринбурга, а также в Сысертском районе Свердловской области, в окрестностях пгт Двуреченск, на базе Биостанции УрФУ. Сборы проводились в течение двух сезонов: 23.06.2015–10.09.2015 и 11.05.2016–30.09.2016. Отбор проб производился по берегам водоемов различных типов с помощью сети Апштейна. Из каждого водоема в пробирку объемом 50 мл был собран концентрат из 10 литров воды. Пробы были просмотрены на микроскопе «Биомед 5» и сфотографированы с применением камеры Levenhuk C310 NG 3M.

Для идентификации видов использовался Определитель пресноводных водорослей СССР [1]. Номенклатура приведена в соответствии с [8], [9], [10]. Проверка определения была выполнена профессором В. Zakryś, главой департамента молекулярной филогении и эволюции Университета Варшавы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованных водоемах идентифицировано 17 видов и одна разновидность из рода *Phacus*. Далее приводятся описания встреченных видов, каждый из которых иллюстрирован фотографией (рисунок).

Phacus acuminatus Stokes – клетки широкоовальные или широко-яйцевидные, длиной 24–33 мкм, шириной 17–25 мкм, спереди закругленные, на заднем конце резко переходят в очень короткий прямой или чуть изогнутый концевой отросток. Пелликула с продольной штриховкой. Два парамилоновых зерна расположены по обе стороны от ядра по продольной линии. Гребневидная продольная складка заметна до середины или до заднего конца клетки. Пруд в Харитоновском саду, пруд Карасики.

Phacus alata Klebs – клетки округлые, длиной 33–42 мкм, шириной 25–32 мкм. Боковые стороны утолщены. Два парамилоновых зерна расположены по бокам клетки и постенно прилегают к ним своей плоской стороной. Хвостовой отросток короткий, клювовидно загнут. Пруд Карасики.

Phacus arnoldii Svirenko – клетки практически круглые, плоские, длиной 89–92 мкм, шириной 71–73 мкм. Ярко выраженный киль S-образно загнут, из-за чего на поперечном разрезе клетки трехлучевые. Концевой отросток прямой, иногда слегка загнут, около 17–18 мкм длиной. Пелликула спирально исчерчена в обоих направлениях, из-за чего клетки кажутся чешуйчатыми. Парамилон кольцевидный в центре клетки. Пруд Карасики.

Phacus arnoldii var. *ovatus* Popova – клетки широкоовальные, с S-образно изогнутым килем, на поперечном разрезе трехлучевые, длиной 51–63 мкм, шириной 30–35 мкм, задний конец со слабо изогнутым бесцветным узким концевым отростком, пелликула со спиральными штрихами, парамилоновое зерно дисковидное. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск, пруд Карасики.

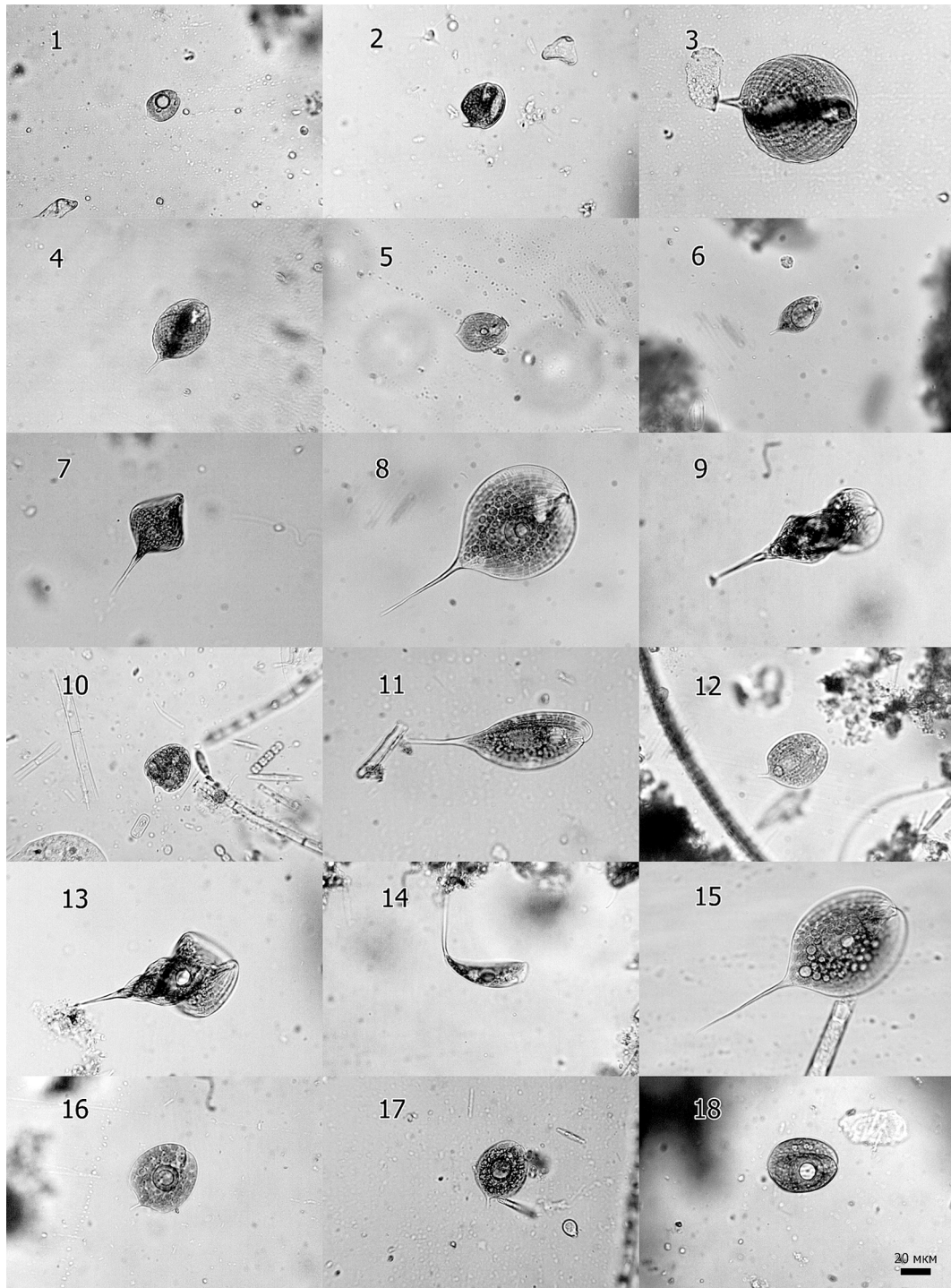
Phacus brevicaudata (G. A. Klebs) Lemmermann – клетки овальные, плоские, иногда с сильно заметными ребрами пелликулы, длиной 35 мкм, шириной 24 мкм. Задний конец клетки сужен в малый клювовидный хвостовой отросток. Парамилон в виде крупного зерна в центре клетки. Пруд в Харитоновском саду.

Phacus caudatus Hübner – клетки овальные или яйцевидные, длиной 40–42 мкм, шириной 20–24 мкм, концевой отросток прямой или слегка изогнут, киль сильно развит, от чего клетки на поперечном разрезе трехлучевые, парамилоновые зерна кольцевидные или дисковидные с малым отверстием, от 1 до 3. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск.

Phacus circumflexus Pochmann – клетки в виде пластинки, сложенной и загнутой X-образно вдоль и вкось, длиной 81 мкм, шириной 41 мкм. Концевой отросток прямой, примерно в половину длины клетки. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск.

Phacus cordata (Pochmann) Zakryś & M. Lukomska – клетки в виде широкосердцевидной пластинки, имеющей наибольшую ширину ближе к передней части, длиной 133–150 мкм, шириной 67–74 мкм, шип прямой или слегка изогнутый. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск.

Phacus cristatus Zakryś & M. Lukomska – клетки широкоовальные, практически плоские, с длинной складкой, длиной 119 мкм, шириной 47 мкм в самой широкой точке. Морфологически практически идентичен *P. helikoides*. Отличия заключаются в меньшей степени скрученности и



Микрофотографии идентифицированных представителей рода *Phacus*:

1. *P. acuminatus*, 2. *P. alata*, 3. *P. arnoldii*, 4. *P. arnoldii* var. *ovatus*, 5. *P. brevicaudata*, 6. *P. caudatus*, 7. *P. circumflexus*,
8. *P. cordata*, 9. *P. cristatus*, 10. *P. curvicauda*, 11. *P. elegans*, 12. *P. hamatus*, 13. *P. helikoides*, 14. *P. lismorensis*,
15. *P. longicauda*, 16. *P. orbicularis*, 17. *P. pleuronectes*, 18. *P. stokesii*

возможности частично «раскручиваться», пребывая в стационарном состоянии. Пруд Карасики.

Phacus curvicauda Svirgenko – клетки широкоовальные до округлых, часто спереди легко сужены, длиной 37 мкм, шириной 28 мкм, задняя сторона резко переходит в клювовидно изогнутый концевой отросток малых размеров. Спинная

сторона с продольным гребнем. Два парамилловых зерна дисковидной формы неравных размеров. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск.

Phacus elegans Pochmann – клетки овальные, длиной 133–147 мкм, шириной 33–44 мкм, часто слегка закручены, задний конец вытянут в длин-

ный бесцветный концевой отросток, пелликула с продольной штриховкой, парамилоновые зерна малых размеров. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск.

Phacus hamatus Rochmann – клетки овальные, вогнутые, потому напоминают черпало ложки, длиной 49–53 мкм, шириной 34–37 мкм. Хвостовой отросток прямой, загнут перпендикулярно вниз относительно продольной плоскости клетки. Пруд в Харитоновском саду.

Phacus helikoides Rochmann – клетки спирально скручены в 1,5–3 полных оборота, длиной 116–132 мкм, шириной 49–57 мкм в самой широкой точке, задний конец вытянут в длинный бесцветный концевой отросток длиной примерно в половину длины клетки, пелликула с продольной штриховкой. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск, пруд Карасики.

Phacus lismorensis Playfair – клетки продолговато-овальные или обратно-яйцевидные, длиной 113 мкм, шириной 24 мкм. Боковые стороны клетки явно асимметричны – одна заметно выдается вперед. Сзади клетка плавно переходит в длинный концевой отросток, отогнутый книзу под прямым углом. В центре клетки крупное округлое парамилоновое зерно. Пруд Карасики.

Phacus longicauda (Ehrenberg) Dujardin – клетки обратно-яйцевидной или грушевидной формы, длиной 158 мкм, шириной 67 мкм, обычно слегка скручены, задний конец вытянут в длинный бесцветный концевой отросток длиной около 70 мкм, пелликула с продольной штриховкой, парамилоновое зерно обычно одно, дисковидное или кольцевидное. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск.

Phacus orbicularis Hübner – клетки практически округлые или округло-овальные, длиной 45–66 мкм, шириной 40–51 мкм, плоские, обычно с четко выраженным спинным гребнем, сзади резко переходят в сильно скошенный бесцветный концевой отросток малых размеров – до 1/5 от длины клетки. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск, пруд в Харитоновском саду.

Phacus pleuronectes (O. F. Müller) Nitzsch – клетки овальные или овально-яйцевидные, длиной 47–60 мкм, шириной 33–42 мкм, плоские, слабо скрученные, сзади внезапно суженные в малый концевой отросток, изогнутый в сторону и назад. Штрихи продольные. Старицы реки Исеть в окрестностях пгт Двуреченск, пруд Карасики.

Phacus stokesii Lemmermann – клетки широкоовальные, длиной 47 мкм, шириной 38 мкм. Штриховка пелликулы продольная, на спинной стороне клетки явная гребневидная складка. Задний конец без хвостового отростка, закруглен. Парамилоновое зерно слегка смещено от центра по поперечной оси. Пруд Карасики.

Тем не менее, несмотря на проведенное исследование, биоразнообразии рода *Phacus* в водоемах г. Екатеринбурга нуждается в дальнейшем изучении.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность А. С. Шахматову за помощь в организации сбора материала и совершенствование методики, Wożena Zakryś – за проверку определения видов и предоставление актуальной литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова Т. Г. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. Эвгленовые водоросли. М.: Советская наука, 1955. 282 с.
2. Попова Т. Г., Сафонова Т. А. Флора споровых растений СССР. Т. 9: Эвгленовые водоросли. Вып. 2. Л.: Наука, 1976. 285 с.
3. Прокаев В. И. Физико-географическое районирование Свердловской области. Свердловск, 1976. 137 с.
4. Прокаев В. И. Физико-географическое районирование: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по геогр. спец. М.: Просвещение, 1983. 176 с.
5. Снитко Л. В., Сергеева Р. М. Водоросли разнотипных водоемов восточной части Южного Урала. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2003. 166 с.
6. Ярушина М. И., Танаева Г. В., Еремкина Т. В. Флора водорослей водоемов Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 307 с.
7. *AlgaeBase* (2013). Available at: <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=77538> (accessed 13.04.2016).
8. Karnkowska-Ishikawa A., Milanowski R., Kwiatowski J., Zakryś B. Taxonomy of the *Phacus oscillans* (Euglenaceae) and its close relatives – balancing morphological and molecular features // *Journal of Phycology*. 2010. Vol. 46 (1). P. 172–182.
9. Kosmala S., Bereza M., Milanowski R., Kwiatowski J., Zakryś B. Morphological and molecular examination of relationships and epitype establishment of *Phacus pleuronectes*, *Phacus orbicularis*, and *Phacus hamelii* // *Journal of Phycology*. 2007. Vol. 43 (5). P. 1071–1082.
10. Łukomska-Kowalczyk M., Karnkowska A., Milanowski R., Lach Ł., Zakryś B. Delimiting species in the *Phacus longicauda* complex (Euglenida) through morphological and molecular analyses // *Journal of phycology*. 2015. Vol. 51 (6). P. 1147–1157.
11. Sheath R. G., Wehr J. D. Freshwater algae of North America: Ecology and classification. Academic Press, 2003. 917 p.
12. Wehr J. D., Sheath R. G., Kociolek J. P. Freshwater algae of North America: Ecology and classification. Elsevier, 2015. 1066 p.

Pavlovskiy E. V., Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)
Paukov A. G., Ural Federal University (Ekaterinburg, Russian Federation)

SPECIES OF *PHACUS* (EUGLENOPHYCEAE) IN WATER BODIES OF EKATERINBURG AREA

This research aims to create a list and make a description of *Phacus* species found in polytypic ponds around Ekaterinburg in accordance with recent taxonomy changes. We used traditional methods (plankton nets) of collecting samples from water reservoirs to trap and concentrate the plankton in focus for our study. We analyzed species' composition of the genus *Phacus* in various water reservoirs in Ekaterinburg and its vicinity. As a result, 17 species and one subspecies were identified according to the new genus taxonomy. All discovered species are new for Middle Ural. Descriptions and pictures of every recorded *Phacus* species are provided.

Key words: *Euglenophyta*, *Phacaceae*, *Phacus*, Middle Ural, biodiversity

REFERENCES

1. Попова Т. Г. *Opredelitel' presnovodnykh vodorosley SSSR. Vypusk 7. Evgenovye vodorosli* [Fresh-water algae of USSR. Fasc. 7. Euglenophyta]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1955. 282 p.
2. Попова Т. Г., Сафонова Т. А. *Flora sporovykh rasteniy SSSR. T. 9: Evgenovye vodorosli. Vyp. 2* [Sporous plants of USSR. Volume 9: Euglenophyta. № 2]. Leningrad, Nauka Publ., 1976. 285 p.
3. Прокаев В. И. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Sverdlovskoy oblasti* [Physiographic division into districts of Sverdlovsk region]. Sverdlovsk, 1976. 137 p.
4. Прокаев В. И. *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie: Uchebnoe posobie dlya studentov pedagogicheskikh institutov po geograficheskoy spetsial'nosti* [Physiographic division into districts: The manual for students of pedagogical institutes in geographic specialization]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1983. 176 p.
5. Снит'ко Л. В., Сергеева Р. М. *Vodorosli raznotipnykh vodoemov vostochnoy chasti Yuzhnogo Urala* [Algae of polytypic water bodies of the eastern part of South Ural]. Miass, IGZ UrO RAN Publ., 2003. 166 p.
6. Yarushina M. I., Tanaeva G. V., Eremina T. V. *Flora vodorosley vodoemov Chelyabinskoy oblasti* [Algae of water bodies of Chelyabinsk region]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2004. 307 p.
7. *AlgaeBase* (2013). Available at: <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy/?id=77538> (accessed 13.04.2016).
8. Karnkowska-Ishikawa A., Milanowski R., Kwiatowski J., Zakryś B. Taxonomy of the *Phacus oscillans* (Euglenaceae) and its close relatives – balancing morphological and molecular features // *Journal of Phycology*. 2010. Vol. 46 (1). P. 172–182.
9. Kosmala S., Bereza M., Milanowski R., Kwiatowski J., Zakryś B. Morphological and molecular examination of relationships and epitype establishment of *Phacus pleuronectes*, *Phacus orbicularis*, and *Phacus hamelii* // *Journal of Phycology*. 2007. Vol. 43 (5). P. 1071–1082.
10. Łukomska-Kowalczyk M., Karnkowska A., Milanowski R., Łach Ł., Zakryś B. Delimiting species in the *Phacus longicauda* complex (Euglenida) through morphological and molecular analyses // *Journal of phycology*. 2015. Vol. 51 (6). P. 1147–1157.
11. Sheath R. G., Wehr J. D. *Freshwater algae of North America: Ecology and classification*. Academic Press, 2003. 917 p.
12. Wehr J. D., Sheath R. G., Kociolek J. P. *Freshwater algae of North America: Ecology and classification*. Elsevier, 2015. 1066 p.

Поступила в редакцию 27.09.2016

ИВАН АНДРЕЕВИЧ СИТНИКОВ

студент 1-го курса магистратуры департамента «Биологический факультет» Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)
ivan11011994@gmail.com

ДАРЬЯ РАМИЛЬЕВНА ШАЙХОВА

студент 1-го курса магистратуры департамента «Биологический факультет» Института естественных наук и математики, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина (Екатеринбург, Российская Федерация)
darya.boo@mail.ru

НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА ЧУКИНА

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

ИРИНА СЕРГЕЕВНА КИСЕЛЕВА

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

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ РАСТЕНИЙ *SCORZONERA GLABRA* RUPR.*

Изучены структура мезофилла и содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений *Scorzonera glabra* Rupr., произрастающих на территории Карабашского медеплавильного комбината в условиях аэротехногенного загрязнения. Обнаружены изменения в структурно-функциональной организации фотосинтетического аппарата этих растений (увеличение толщины эпидермиса, объема клеток мезофилла, числа клеток и хлоропластов в единице площади листа, содержания хлорофилла *a* и каротиноидов), которые рассматриваются как адаптивные, позволяющие растениям длительное время произрастать в стрессовых условиях.

Ключевые слова: техногенное загрязнение, фотосинтетические пигменты, мезоструктура листа

Карабашский медеплавильный комбинат (КМК) «Карабашмедь» – предприятие, которое на протяжении длительного времени является мощным источником поллютантов. Большая часть аэральных выбросов комбината состоит из газов и пыли: SO₂ (около 90 %), NO₂, CO, оксиды металлов (Zn, Cu, Pb, Fe, As) [2]. Многолетняя деятельность предприятия привела к серьезным экологическим последствиям. Значительные объемы техногенных выбросов с осадками попадали в почву, что способствовало существенному увеличению концентрации ксенобиотиков в пробах почвы в окрестностях КМК. В результате естественный почвенный покров вблизи комбината практически деградирован и трансформирован эрозионными преобразованиями в техногенный субстрат. Изменения произошли в структуре фитоценозов: почти полностью уничтожен древесный ярус, а многолетние травянистые растения (петрофитные и луговые мезофиты) формируют

пятна и куртины небольших размеров, не образующие сомкнутого покрова [12]. В таких условиях преимущество приобретают виды стресс-толерантной стратегии – многолетники, которые характеризуются небольшой скоростью роста и продуктивностью, не требовательны к ресурсам и способны переживать стрессовые условия.

Фотосинтетический аппарат растений, имеющий большую площадь контакта с воздушной средой, первым реагирует на токсическое воздействие поллютантов. Структурно-функциональные особенности ассимиляционного аппарата, такие как толщина листовой пластинки, мезофилла листа, эпидермиса, размеры клеток ассимиляционной паренхимы и хлоропластов, их количество в единице площади листа, содержание и соотношение фотосинтетических пигментов, отражают приспособленность вида к условиям среды. От функционирования ассимиляционного аппарата зависит эффектив-

ность процесса фотосинтеза, продуктивность и выживаемость вида в целом. В отечественной и зарубежной литературе описаны структурно-функциональные особенности листьев растений, произрастающих на территориях вблизи источников аэротехногенного загрязнения [8], [17], [19], [20]. Кроме того, в литературе имеются сведения о воздействии Карабашского медеплавильного комбината на растительные объекты. Например, А. Г. Мумбер с соавторами выполнили комплексную оценку воздействия выбросов КМК на состояние подроста сосны, включающую анализ накопления тяжелых металлов в различных органах, а также морфометрических показателей побегов и линейных размеров хвоинок [13]. Е. В. Коротеева с соавторами исследовали флоры лесных сообществ района г. Карабаш и показали значительное увеличение доли скальных видов и видов рудеральной стратегии. Установлены особенности строения травянистых растительных группировок, в том числе уникальных, с участием редкого плейстоценового реликта – *Scorzonera glabra* [4], [5]. Изучено накопление тяжелых металлов в биомассе растений и проведен анализ флуктуирующей асимметрии листа березы повислой в зависимости от расстояния от медеплавильного комбината [6]. Результаты экспресс-оценки состояния вегетативных и генеративных органов травянистых растений, обитающих на данной территории, проведенной нами в 2014 году, позволили выделить виды, обладающие устойчивостью к техногенному загрязнению [16]. В их числе редкий вид – козелец гладкий, для которого отмечено отсутствие достоверных изменений в содержании и соотношении фотосинтетических пигментов в листьях, а также показателей фертильности пыльцы в условиях высоких техногенных нагрузок. *Scorzonera glabra* в естественных местообитаниях произрастает в виде изолированных малочисленных ценопопуляций, формируя растения с небольшим числом побегов, цветоносов и листьев. В условиях техногенных нагрузок в отсутствие фитосреды он является главным ценообразователем, образуя надземную массу с большим количеством генеративных побегов [10]. Перечисленные факты послужили причиной для выбора *Scorzonera glabra* в качестве объекта нашего исследования.

Целью данной работы было изучение влияния выбросов Карабашского медеплавильного комбината на мезоструктуру листьев и содержание фотосинтетических пигментов в них у растений *Scorzonera glabra* Rupr.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили летом 2015 года в районе г. Карабаш Челябинской области на территории вблизи КМК (ЗАО «Карабашмедь»). Растительный материал собирали со склонов горы

Золотая, относящейся к Карабашскому горному массиву (55°29.16' N, 60°15.22' E) [14].

КМК – один из крупнейших источников загрязняющих веществ, действующий на территории Челябинской области еще с 1910 года. Максимальные объемы его выбросов достигали 360 тыс. тонн в год. Аэральные выбросы несут широкий спектр тяжелых металлов (ТМ): Cu, Zn, Pb, Cd и др. Дожди, проходя через шлейф газопылевых выбросов, образуют высокотоксичные осадки сульфатно-хлоридно-кальциевого типа с преобладанием катионной части металлов и повышенной минерализацией [3]. Они вызывают существенные изменения в химическом составе почвенного субстрата на данной территории. Индекс токсической нагрузки импактной территории составляет 20 условных единиц [6].

В нашем исследовании в качестве относительного контроля (фоновой зоны) рассматривали район горы Егоза, находящийся в южной части Среднего Урала, в 40 км северо-восточнее г. Карабаш. Гора Егоза относится к Сугомакскому горному массиву (55°45.06' N, 60°26.95' E) и представляет собой самую высокую точку горной цепи западной стороны Кыштыма [14]. Эта территория по комплексу эдафических и орографических факторов оптимально подходит в качестве фоновой зоны. Уровень инсоляции и увлажнения субстрата, характер подстилающих пород в этом районе аналогичны наблюдаемым на территории вблизи КМК. Обе зоны принадлежат к ультраосновным массивам, для которых свойственны схожие геохимические особенности. Однако концентрации ряда ТМ в образцах почвы с Карабашского массива в несколько раз, а иногда и на порядки, превышают значения в почвах горы Егоза. Так, например, по данным А. Ю. Тептиной с соавторами, кратность превышения валового содержания по меди, кадмию, цинку и железу в пробах с территории вблизи КМК составила 60, 23, 15 и 4 раза соответственно [14].

Scorzonera glabra Rupr. (*S. ruprechtiana* Lipsch. et Krasch.) – козелец гладкий, сем. *Asteraceae*, редкий вид, плейстоценовый реликт. В Челябинской области широко распространен по восточному склону Южного Урала в окрестностях Карабаша, Кыштыма и Миасса. Произрастает на обнажениях (гипсовых, известняковых), осыпях, скалистых останцах каменистых оstepенных склонов, преимущественно на основных и ультраосновных породах [9]. Гемикриптофит, стержнекорневой каудексообразующий травянистый многолетник, ксеромезофит.

На территории импактной зоны вид образует монодоминантные сообщества с проективным покрытием 2–6 %, с преобладанием генеративных и, в меньшей степени, сенильных особей. В типичных местообитаниях при отсутствии техногенной нагрузки встречаемость *S. glabra* незначительная. Вид обладает выраженным по-

лиморфизмом [10] и может служить удобной моделью для изучения адаптации растений к техногенному стрессу.

С пробных площадок, расположенных на расстоянии 10–20 м друг от друга, собирали по 5–10 полностью сформированных неповрежденных листьев с 10–15 генеративных особей.

Анализ показателей мезоструктуры фотосинтетического аппарата проводили согласно методике [21], используя листья, фиксированные в глутаровом альдегиде (3,5 %) в фосфатном буфере (рН = 7,2). Поперечные срезы листа получали на замораживающем микротоме МЗ-2 (Россия). Толщину листа, мезофилла и эпидермиса измеряли на поперечных срезах (n = 20) с использованием объект- и окуляр-микрометров с использованием светового микроскопа Meiji MT 4300L с цветной цифровой камерой CAM V400/1.3M. Подсчет количества клеток и хлоропластов (n = 20), а также определение их размеров (n = 30) проводили с использованием специализированного комплекса для анализа изображений Simagis Mesoplant (ООО «СИАМС», Россия).

Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически в этанольной вытяжке (n = 9) согласно общепринятой методике [22] на спектрофотометре PD 303 UV Apel (Япония).

Первичная обработка данных осуществлялась в MS Excel 2016. Достоверность различий параметров оценивали при уровне значимости $p < 0,05$ при помощи критерия Манна – Уитни для непараметрической оценки в программе Statistica 8.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Листья растений *S. glabra* имели гомогенный тип строения мезофилла. Клетки ассимиляционной паренхимы листа не дифференцированы, отмечено наличие только губчатого мезофилла. Листья неопушенные, выражена кутикула.

Сравнительный анализ параметров мезоструктуры *S. glabra* показал, что по толщине листа растения из импактной и фоновой зон достоверно не отличаются (табл. 1). В среднем этот показатель составил 355 мкм, коэффициент вариации не превышал 15 %. Имеющиеся по этому вопросу в литературе данные противоречивы. С одной стороны, исследователи указывают на изменение данного показателя у растений при действии аэральных выбросов [16], [17], [18]. С другой стороны, модельные исследования, проведенные А. А. Кулагиным и Н. Г. Кужлевой на растениях тополя бальзамического, свидетельствуют, что действие сублетальных концентраций токсичных металлов и влияние металлов-макроэлементов на структуру листа имеют сходные эффекты. По мнению этих авторов, толщина листовой пластинки не может быть использована как биоиндикационный признак [8].

В наших исследованиях установлено, что у растений *S. glabra*, произрастающих в зоне воздействия аэральных выбросов КМК, не происходит значительных изменений в толщине мезофилла, но существенно (на 25 %) увеличивается толщина эпидермиса (см. табл. 1), то есть проявляются признаки ксероморфности листьев. Многие авторы отмечают аналогичные изменения в условиях загрязнения и связывают их с усилением барьерной функции покровных тканей [3], [8], [18], [19], [20].

Результаты наших исследований показали, что у растений из импактной зоны объем мезофильных клеток и их количество в единице площади листа было выше, чем у растений из фоновой зоны (см. табл. 1). Известно, что в условиях загрязнения среды происходит увеличение объемов

Таблица 1
Параметры мезоструктуры листа растений *Sorzonera glabra*

Показатели	Импакт	Фон
Толщина листа, мкм		
среднее	357,7 ± 10,2	349,0 ± 12,0
мин – макс	288,0–417,0	263,0–482,0
дисперсия	2079, 1	2902,7
Толщина мезофилла, мкм		
среднее	284,5 ± 9,5	294,8 ± 12
мин – макс	217,0–342,0	211,0–420,0
дисперсия	1802,5	2880,2
Толщина эпидермиса, мкм		
среднее	73,2 ± 2,059*	55,1 ± 2,286*
мин – макс	59,0–93,0	39,0–74,0
дисперсия	84,8	104,5
Количество клеток мезофилла, тыс./см ²		
среднее	417,0 ± 15,3*	239,5 ± 9,4*
мин – макс	322,7–526,5	186,8–305,7
дисперсия	2,71	1,0
Объем клеток мезофилла, тыс. мкм ³		
среднее	20,1 ± 1,4*	16,2 ± 2,1*
мин – макс	11,0–38,3	6,5–50,2
дисперсия	72,8	135,0
Количество хлоропластов, млн/см ²		
среднее	10,0 ± 0,4*	5,8 ± 0,2*
мин – макс	7,8–12,7	4,5–7,3
дисперсия	2,7	1,0
Объем хлоропластов, мкм ³		
среднее	46,6 ± 2,2*	59,4 ± 2,3*
мин – макс	29,5–72,1	36,6–82,3
дисперсия	154,5	160,0

Примечание. Приведены средние значения ± ошибка среднего; * – различия признака достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

клеток ассимиляционной паренхимы, обусловленное, скорее всего, активным накоплением в них ТМ [3], [15]. Эти особенности строения листьев *S. glabra*, произрастающих на территории КМК (большее число более крупных клеток мезофилла), могут рассматриваться как защитно-приспособительные реакции фотосинтетического аппарата к высоким концентрациям поллютантов.

Анализ изменчивости таких признаков, как толщина листа, толщина мезофилла и объем клеток (по диапазону «min – max» и величине дисперсии), показал, что у растений из импактной зоны они варьируют в меньшей степени, чем из фоновой. Это может свидетельствовать о том, что в условиях почти столетнего воздействия аэротехногенных выбросов на склон горы Золотой вблизи КМК естественный отбор сохранил более устойчивые к поллютантам генотипы, характеризующиеся определенными адаптивными чертами строения листьев.

Адаптивные перестройки фотосинтетического аппарата могут затрагивать изменения фотоактивной поверхности, в частности размеры и число пластид в клетке [15]. В результате нашего исследования установлено, что у растений импактной зоны размеры хлоропластов меньше (на 25 %), а их количество в единице площади листа в 2 раза больше, чем у растений фоновой зоны (см. табл. 1). Такие изменения приводят к росту внутренней ассимиляционной поверхности, что является способом поддержания необходимого уровня фотосинтеза в этих условиях.

Хорошо известно, что функционирование фотосинтетического аппарата растений в условиях стресса в значительной степени определяется количеством пигментов и их соотношением [7]. Сравнительный анализ пула фотосинтетических пигментов в листьях *S. glabra* показал, что содержание хлорофилла *a* было выше у растений из импактной зоны по сравнению с растениями фоновой зоны (табл. 2). Известно, что такие металлы, как железо и медь, участвуют в процессе синтеза пигментов, следовательно, увеличение их содержания в среде может влиять на процессы синтеза и деградации пигментов в листьях [15]. Показано, например, что на начальных этапах воздействия медью накопление хлорофиллов в листьях происходит интенсивнее, чем в ее отсутствие [1].

Ранее рядом авторов отмечено усиление синтеза антенных пигментов в листьях растений под действием некоторых тяжелых металлов [7], [11], [17]. В нашей работе установлено, что в листьях растений *S. glabra* из импактной зоны содержание каротиноидов достоверно выше (см. табл. 2), чем в листьях растений фоновой зоны. Эта реакция пигментного аппарата может рассматриваться как адаптивная, поскольку известно, что каротиноиды, помимо антенной функции, выполняют

Таблица 2
Содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений *Scorzonera glabra*

Показатели	Импакт	Фон
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сух. веса		
Среднее	5,903 ± 0,396*	4,404 ± 0,381*
макс	7,351	5,992
мин	4,174	3,287
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сух. веса		
Среднее	3,118 ± 0,317	2,860 ± 0,546
макс	4,780	6,528
мин	1,954	1,324
Каротиноиды, мг/г сух. веса		
Среднее	1,614 ± 0,082*	1,332 ± 0,116*
макс	2,077	1,983
мин	1,353	0,953
Хл <i>a</i> /Хл <i>b</i> + каротиноиды		
Среднее	1,283 ± 0,024*	1,113 ± 0,044*
макс	1,400	1,285
мин	1,191	0,918

Примечание. Приведены средние значения ± ошибка среднего; * – различия признака достоверны при уровне значимости $p < 0,05$.

также роль антиоксидантов, активно участвуя в инактивации свободных радикалов.

Одним из важных показателей состояния фотосинтетического аппарата в стрессовых условиях является отношение хлорофилла *a* к сумме добавочных пигментов (хлорофилла *b* и каротиноидов). Этот показатель используют также для оценки устойчивости растений к внешним стрессорам [23]. В наших исследованиях у растений импактной зоны отмечено увеличение данного соотношения, и это, наряду с данными о содержании хлорофилла *a* в листьях козельца, указывает на высокую устойчивость его пигментного аппарата к техногенному загрязнению (см. табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что в условиях длительного стресса, вызванного токсическими выбросами медеплавильного завода, в листьях растений *Scorzonera glabra* происходят адаптивные изменения фотосинтетического аппарата: увеличение толщины эпидермиса усиливает его барьерную функцию при проникновении аэрополлютантов в лист; увеличение размеров клеток позволяет накапливать в них большее количество ТМ, являющихся главными компонентами выбросов КМК; рост числа хлоропластов в см² поверхности листа – компенсаторное поддержание фотосинтетической функции в стрессовых условиях.

Установлено, что пигментный аппарат листьев растений *Scorzonera glabra*, произрастающих в условиях аэрогенного загрязнения, устойчив к стрессовому воздействию. Увеличение содержания хлорофилла *a* и каротиноидов в листьях способствует большей эффективности использования световой энергии благодаря увеличению количества реакционных центров и антенных форм пигментов в фотосинтезирующих тканях.

Таким образом, установлено, что у растений *Scorzonera glabra*, произрастающих на территории Карабашского медеплавильного комбината в условиях аэротехногенного загрязнения, про-

изошли изменения фотосинтетического аппарата, которые имеют очевидную адаптивную направленность. Эти изменения в значительной степени определяют эффективность протекания фотосинтетических процессов, возможность успешного роста и развития растений, а также формирование их высокой устойчивости к условиям техногенного стресса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность П. С. Лежнину, Н. А. Кутлуниной и Т. Ф. Шарниной за помощь в работе.

*Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-04-08380 А и программы 211 Правительства Российской Федерации, соглашение № 02.А03.21.0006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Духовский П. В., Юкнис Р., Бразайтите И., Жукаускайте Л. Реакция растений на комплексное воздействие природных и антропогенных стрессоров // Физиология растений. 2003. Т. 50. № 2. С. 165–173.
2. Залесов С. В., Бачурина А. В. Изменение морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэропромвыбросов // Вестник Московского государственного университета. 2008. С. 36–38.
3. Зиннатов Э. Р. Морфофизиологические и биохимические адаптации дикорастущих видов растений к техногенному загрязнению в условиях Среднего Урала: Дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2014. 184 с.
4. Коротеева Е. В., Вейсберг Е. И., Гаврилкина С. В., Чашин П. В. Трансформированная растительность в зоне аэрального загрязнения Карабашского медеплавильного комбината (Южный Урал) // Проблемы региональной экологии. 2014. № 6. С. 96–102.
5. 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 (39). № 1 (4). С. 1005–1011.
6. Коротеева Е. В., Веселкин Д. В., Куянцева Н. Б., Чашина О. Е. В градиенте влияния выбросов Карабашского медеплавильного комбината изменяется размер, но не флуктуирующая асимметрия листа березы повислой // Доклады Академии наук. 2015. Т. 460. № 3. С. 364–367.
7. Кулагин А. А. Особенности развития тополя балзамического (*Populus balsamifera* L.) в условиях загрязнения окружающей среды металлами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2003. Т. 5. № 2. С. 334–341.
8. Кулагин А. А., Кузлева Н. Г. Об анатомических изменениях, происходящих в листьях *Populus balsamifera* L. на фоне избыточного содержания металлов в окружающей среде // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2005. Т. 7. № 1. С. 193–198.
9. Куликов П. В. Определитель сосудистых растений Челябинской области. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 970 с.
10. Лесина С. А., Коротеева Е. В. Онтогенез и экология произрастания *Scorzonera glabra* в Челябинской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 12 (131). С. 204–206.
11. 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.
12. Михеев А. Н., Залесов С. В. Видовой состав живого напочвенного покрова на разных градиентах высот в районе техногенного загрязнения ЗАО «Карабашмедь» // Леса России и хозяйство в них. Екатеринбург, 2013. Т. 44. № 1 (44). С. 44–46.
13. Мумбер А. Г., Чашина О. Е., Куянцева Н. Б., Потапкин А. Б. Влияние кислотных выбросов Карабашского медеплавильного комбината на жизненное состояние подростка сосны в Ильменском государственном заповеднике (Южный Урал) // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1 (4). С. 1230–1236.
14. Тептина А. Ю., Пауков А. Г., Морозова М. В. Аккумуляция Ni представителями семейства *Brassicaceae* на почвах ультраосновных пород Южного и Среднего Урала // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 4 (157). С. 110–117.
15. Чукина Н. В., Борисова Г. Г. Изменение структурно-функциональных характеристик фотосинтетического аппарата *Elodea densa* Planch. под действием тяжелых металлов // Поволжский экологический журнал. 2012. № 4. С. 447–454.
16. Чукина Н. В., Кутлунина Н. А., Шаихова Д. Р., Шарнина Т. Ф., Ситников И. А., Киселева И. С. Экспресс-оценка состояния вегетативных и генеративных органов травянистых растений в окрестностях Карабашского медеплавильного комбината // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. № 8 (153). С. 80–86.
17. Чукина Н. В., Филимонова Е. И., Файрузова А. И., Борисова Г. Г. Морфофизиологические особенности листьев *Betula pendula* Roth на золоотвалах среднего Урала // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 6 (159). С. 68–75.
18. Dineva S. B. Leaf blade structure and the tolerance of *Acer negundo* L. (Box elder) to the polluted environment // Dendrobiology. 2005. Vol. 53. P. 11–16.

19. Gomes M. P., Marques T. C. L. L., Nogueira M. O. G., Castro E. M., Soares Â. M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens* // *Scientia Agricola*. 2011. Vol. 68. № 5. P. 566–573.
20. Gostin I. N. Air pollution effects on the leaf structure of some *Fabaceae* species // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. Vol. 37. № 2. P. 57.
21. Ivanova L. A., P'yankov V. I. Structural adaptation of the leaf mesophyll to shading // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2002. Vol. 49. № 3. P. 419–431.
22. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // *Methods in enzymology*. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
23. Monni S., Uhlig C., Junntila O., Hansen E., Hynynen J. Chemical composition and ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to aboveground element application // *Environmental Pollution*. 2001. Vol. 112. № 3. P. 417–426.

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

AEROTECHNOGENIC POLLUTION EFFECTS ON PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF *SCORZONERA GLABRA* RUPR

This research aims to determine the level of photosynthetic pigments' concentration and to identify the structure of mesophyll in *Scorzonera glabra* Rupr. leaves under exposure to aerotechnogenic pollution. The obtained samples were collected in the vicinity of Karabash copper smelter. The increase in epidermal thickness, the number and volume of mesophyll cells, the number of chloroplasts and concentration of chlorophyll a and carotenoids in plant leaves from the impact zone was identified and compared to the control zone. Clearly, these differences in photosynthetic apparatus are seen as adaptive features, which allow individual plants to grow naturally in polluted areas.

Key words: environmental contamination, photosynthetic pigments, mesostructure

REFERENCES

1. Dukhovskiy P. V., Yuknis R., Brazaytite I., Zhukauskayte L. Plant Response to Integrated Impact of Natural and Anthropogenic Stress Factors [Reaktsiya rasteniy na kompleksnoe vozdeystvie prirodnykh i antropogennykh stressorov]. *Fiziologiya rasteniy* [Russian Journal of Plant Physiology]. 2003. Vol. 50. № 2. P. 165–173.
2. Zalesov S. V., Bachurina A. V. Pinus silvestris L. needles morphometric data changes in the conditions of air and industrial pollution [Izmenenie morfometricheskikh pokazateley khvoi sosny obyknovnoy v usloviyakh aeropromvybrosov]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Bulletin of Moscow state forest university]. 2008. P. 36–38.
3. Zinnatova E. R. *Morfofiziologicheskie i biokhimicheskie adaptatsii dikorastushhikh vidov rasteniy k tekhnogennomu zagryazneniyu v usloviyakh Srednego Urala: Dis. ... kand. biol. nauk* [Morpho-physiological and biochemical adaptation of wild plants to pollution in the Middle Ural. Author's abst. PhD biol. sci. diss.]. Ufa, 2014. 184 p.
4. Koroteeva E. V., Veysberg E. I., Gavrilkina S. V., Chashin P. V. Transformed vegetation in the air polluted zone of Karabash copper plant in Southern Urals [Transformirovannaya rastitel'nost' v zone aeral'nogo zagryazneniya Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata (Yuzhnyy Ural)]. *Problemy regional'noy ekologii*. 2014. № 6. P. 96–102.
5. Koroteeva E. V., Veysberg E. I., Kuyantseva N. B. Estimation of forest cenoflora state in zone of Karabashskiy cooper-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, Russian Academy of Sciences]. 2011. Vol. 13 (39). № 1 (4). P. 1005–1011.
6. Koroteeva E. V., Veselkin D. V., Kuyantseva N. B., Chashchina O. E. The gradient effect of emissions from the Karabash copper smelter changes size, but not fluctuating asymmetry of birch leaves drooping [V gradiente vliyaniya vybrosov Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata izmenyaetsya razmer, no ne fluktuiruyushchaya asimmetriya lista berezy povisloy]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences]. 2015. Vol. 460. № 3. P. 364–367.
7. Kulagin A. A. Features of development of a balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) in conditions of pollution of the environment by metals [Osobennosti razvitiya topolya bal'zamicheskogo (*Populus balsamifera* L.) v usloviyakh zagryazneniya okruzhayushchey sredy metallami]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the Samara scientific center, Russian Academy of Sciences]. 2003. Vol. 5. № 2. P. 334–341.
8. Kulagin A. A., Kuzhleva N. G. About anatomic changes occurring in balsam poplar leaves (*Populus balsamifera* L.) on a background of the superfluous contents of metals in the environment [Ob anatomicheskikh izmeneniyakh, proiskhodyashchikh v list'yakh *Populus balsamifera* L. na fone izbytochnogo soderzhaniya metallov v okruzhayushchey srede]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Proceedings of the samara scientific center, Russian Academy of Sciences]. 2005. Vol. 7. № 1. P. 193–198.
9. Kulikov P. V. *Opredelitel' sosudistyykh rasteniy Chelyabinskoy oblasti* [The vascular plants of Chelyabinsk region]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2010. 970 p.
10. Lesina S. A., Koroteeva E. V. The ontogenetic and the ecological *Scorzonera glabra* in Chelyabinsk region [Ontogenez i ekologiya proizrastaniya *Scorzonera glabra* v Chelyabinskoy oblasti]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* [Herald of Orenburg State University]. 2011. № 12 (131). P. 204–206.
11. Maksimova E. V., Kositsyna A. A., Makurina O. N. The influence of chemicals factors on some ecological-biochemical characteristics of plants [Vliyanie antropogennykh faktorov khimicheskoy prirody na nekotorye ekologo-biokhimicheskie kharakteristiki rasteniy]. *Vestnik SamGU. Estestvennonauchnaya seriya* [Herald of Samara State University]. 2007. № 8 (58). P. 146–152.

12. Mikhееv A. N., Zalesov S. V. The live ground cover specific compound on the different gradients of height in the area of industrial pollution ZAO "Karabashmed" [Vidovoy sostav zhivogo napochvennogo pokrova na raznykh gradientakh vysot v rayone tekhnogennoy zagryazneniya ZAO "Karabashmed"]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh* [Russian Forest and forestry in]. Ekaterinburg, 2013. Vol. 44. № 1 (44). P. 44–46.
13. Mumber A. G., Chashina O. E., Kuyantseva N. B., Potapkin A. B. Influence of acid emissions from Karabash copper smelter on the vital status of pine undergrowth in Ilmen state nature reserve (South Urals) [Vliyanie kislotnykh vybrosov Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata na zhiznennoe sostoyanie podrosta sosny v Il'menskom gosudarstvennom zapovednike (Yuzhnyy Ural)]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara scientific center, Russian Academy of Sciences]. 2014. Vol. 16. № 1 (4). P. 1230–1236.
14. Teptina A. Yu., Paukov A. G., Morozova M. V. Accumulation of Ni by species of Brassicaceae on ultramafic soils of Southern and Middle Urals [Akkumulyatsiya Ni predstavitel'yami semeystva *Brassicaceae* na pochvakh ul'traosnovnykh porod Yuzhnogo i Srednego Urala]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Biological Sciences]. 2016. № 4 (157). P. 110–117.
15. Chukina N. V., Borisova G. G. Changes of the structural-functional characteristics of the photosynthetic apparatus of *Elodea densa* Planch. under the influence of heavy metals [Izmenenie strukturno-funktsional'nykh kharakteristik fotosinteticheskogo apparata *Elodea densa* Planch. pod deystviem tyazhelykh metallov]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal* [Povolzhskiy Journal of Ecology]. 2012. № 4. P. 447–454.
16. 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 [Ekspress-otsenka sostoyaniya vegetativnykh i generativnykh organov travyanistykh rasteniy v okrestnostyakh Karabashskogo medeplavil'nogo kombinata]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Biological Sciences]. 2015. № 8 (153). P. 80–86.
17. Chukina N. V., Filimonova E. I., Fayruzova A. I., Borisova G. G. The morphological features of leaves *Betula pendula* Roth on ash dumps of the average [Morfofiziologicheskie osobennosti list'ev *Betula pendula* Roth na zolootvalakh srednego Urala]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Biological Sciences]. 2016. № 6 (159). P. 68–75.
18. Dineva S. B. Leaf blade structure and the tolerance of *Acer negundo* L. (Box elder) to the polluted environment // *Dendrobiology*. 2005. Vol. 53. P. 11–16.
19. Gomes M. P., Marques T. C. L. L., Nogueira M. O. G., Castro E. M., Soares Â. M. Ecophysiological and anatomical changes due to uptake and accumulation of heavy metal in *Brachiaria decumbens* // *Scientia Agricola*. 2011. Vol. 68. № 5. P. 566–573.
20. Gostin I. N. Air pollution effects on the leaf structure of some Fabaceae species // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. Vol. 37. № 2. P. 57.
21. Ivanova L. A., P'yankov V. I. Structural adaptation of the leaf mesophyll to shading // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2002. Vol. 49. № 3. P. 419–431.
22. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // *Methods in enzymology*. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
23. Monni S., Uhlig C., Junntila O., Hansen E., Hynnen J. Chemical composition and ecophysiological responses of *Empetrum nigrum* to aboveground element application // *Environmental Pollution*. 2001. Vol. 112. № 3. P. 417–426.

Поступила в редакцию 07.11.2016

АНАСТАСИЯ АНАТОЛЬЕВНА ШАЙХУТДИНОВА
кандидат технических наук, доцент кафедры экологии и природопользования, Оренбургский государственный университет (Оренбург, Российская Федерация)
varvarushka@yandex.ru

ЯНА СЕРГЕЕВНА ИВЛЕВА
магистрант кафедры экологии и природопользования, Оренбургский государственный университет (Оренбург, Российская Федерация)
ivlyanammg@gmail.com

ГОРОДСКИЕ ЗЕЛЕННЫЕ НАСАЖДЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА

Статья посвящена проблемам, связанным с функционированием экологического каркаса города Оренбурга. Экологический каркас города представлен парками, садами, скверами в жилых кварталах, крупными городскими кладбищами, бульварами, набережными, межквартальными и внутривдворовыми зелеными зонами. По этим данным для наглядного изображения составлена схема природно-экологического каркаса в геоинформационной системе ArcGis 10.3. Выявлены проблемы, которые ведут к разрушению экологического каркаса города Оренбурга, деформации в системе озеленения и непоправимым экологическим последствиям. Также представлен комплекс мероприятий по рациональному использованию действующих элементов зеленого каркаса, рекомендуемые для озеленения города породы деревьев и кустарников, приспособленных к местным климатическим и почвенным условиям. Показано, что огромную роль в озеленении города должны сыграть вертикальное озеленение и создание садов и оранжерей на кровле.

Ключевые слова: экологический каркас, зеленый коридор, г. Оренбург

Экологический каркас – это адекватно защищенная система экологически взаимосвязанных природных территорий, позволяющая поддерживать экологическое равновесие в городе [4].

Природные и улучшенные культурные ландшафты города, объединенные зелеными коридорами, являются основой экологического каркаса. Идеальный экологический каркас должен иметь вид сети с равномерно распределенными по площади ячейками природы и коридорами-стержнями, соединяющими ячейки. К ячейкам природы относятся леса, парки, реки, озера, луга, лощины, возвышенности, скверы, сады и пр. Линейные межмагистральные и межквартальные связи служат зелеными коридорами и объединяют экологические зоны. Пронизывая город, именно экологические коридоры способствуют миграции фауны и насекомых, обмену веществ и энергии. Коридорами-стержнями могут быть естественные компоненты – реки, ручьи, лесополосы, клинья лесов и лугов и другие протяженные и узкие природные объекты, а при их отсутствии необходимо создавать культурные зеленые коридоры, что может сопровождаться формированием новых ячеек экологического каркаса города.

В реальном городе зеленые, селитебные и промышленные зоны распределены в генеральном плане крайне неравномерно. Это не позволяет создать хороший экологический каркас и, как

следствие, экологически обоснованное качество среды жизни.

В настоящее время проблемы, связанные с функционированием экологического каркаса, стоят и в городе Оренбурге. История формирования экологического каркаса территории Оренбурга насчитывает около трех столетий. Она неразрывно связана с историческими событиями, социальными и экономическими процессами, которые наложили определенный отпечаток как на темпы развития и структуру каркаса, так и на видовой состав растений, слагающих его [2].

Город Оренбург разделен на 2 округа: Северный и Южный. Северный округ включает Промышленный и Дзержинский районы, а Южный – Ленинский и Центральный. В состав Северного округа города Оренбурга входят семь сельских населенных пунктов: поселки Каргала, Холодные Ключи, Троицкий, Красный Партизан и Самородово, села Краснохолм и Пруды. В состав Южного округа города Оренбурга входят село Городище, поселки Бердянка и Нижнесакмарский [2].

По официальным данным администрации города Оренбурга, общая площадь города – 374 км², или 37400 га. Население города на 01.01.2015 составило 561279 чел. Согласно общепринятой классификации, Оренбург относится к крупным городам.

В промышленности Оренбурга преобладают газодобывающая и газоперерабатывающая отрас-

ли, машиностроение и металлообработка. Также развиты предприятия химической, пищевой и легкой промышленности. Топливная промышленность Оренбурга представлена:

- ООО «Газпром добыча Оренбург» – крупнейший газохимический комплекс РФ, осуществляет поиск и разработку месторождений нефти и газа;
- ЗАО «Уралнефтегазпром» – нефтегазодобывающее предприятие.

Металлообрабатывающие предприятия и машиностроительные заводы Оренбурга:

- ООО «Завод металлоконструкций» – производство сварных металлоконструкций;
- ОАО «Оренбургский станкозавод» – крупный завод по производству станочного оборудования;
- ОАО «Гидропресс» – проектирование и изготовление гидравлических прессов;
- ОАО «Завод бурового оборудования» – изготовление бурового оборудования;
- ОАО «Металлист» – производство металлических сооружений для различных отраслей промышленности.

Город Оренбург расположен в степной местности в районе слияния рек Урал и Сакмара и подвержен жесткому воздействию природного окружения в условиях резко континентального климата, особенностями которого являются:

- холодная зима и жаркое, как правило, засушливое лето;
- большие колебания среднесуточной температуры;
- сильные ветры, суховеи, бураны и пыльные бури;
- низкая относительная влажность воздуха;
- недостаток влаги в почве, минимум влаги весной;
- весенние заморозки и зимнее промерзание почвы [6].

Для успешного произрастания зеленых насаждений в Оренбурге требуются регулярный полив, особенно в начальных стадиях развития растений; устойчивый к местным условиям ассортимент деревьев, кустарников, цветов и трав; благоприятные почвенные условия вплоть до полной замены грунта.

Современный экологический каркас Оренбурга является сложной многоструктурной системой и объединяет элементы, различные по возрасту, функциональному назначению, типам и входящим в них формам озеленения. Его узловыми точками являются старые городские сады, парки и скверы; сравнительно молодые городские сады и парки; набережные, аллеи и бульвары; скверы в жилых кварталах; крупные городские кладбища; межквартальные и внутривдворовые зеленые зоны; фрагменты лесов, сохранившиеся в пределах городской черты [5].

К разрушению основного каркаса города Оренбурга, деформации в системе озеленения и непоправимым экологическим последствиям ведет:

- сокращение общей площади зеленых насаждений;
- вырубка городских и пригородных лесов для размещения гаражей, котельных, инженерных сооружений и сетей, для строительства АЗС, жилых зданий и т. д.;
- захламление существующих зеленых насаждений;
- ненадлежащее содержание парков, скверов, лесополос, пойменных лесов и других элементов системы озеленения города.

Наличие таких фактов дало нам основание попытаться создать модель экологического каркаса г. Оренбурга, а также провести анализ древесно-кустарниковой флоры как основного компонента среды и основополагающей части зеленого каркаса города.

На сайте администрации города Оренбурга официально заявлено 38 озелененных территорий, к ним относятся 7 парков площадью до 10–12 га; 4 сада площадью от 2 до 10–12 га; 1 бульвар площадью 2,2 га и 26 скверов площадью от 0,15 до 2 га (таблица) [2].

Парк им. Л. А. Гуськова находится на проспекте Победы от улицы Монтажников до проезда Автоматики. Год закладки – 1976. Устроен в виде аллеи бульвара с 4 фонтанами длиной в километр. Дендрологический состав зеленых насаждений – деревья 22 видов: сосна, липа мелколистная, вяз мелколистный, тополь черный, яблоня сибирская, яблоня дичка, тополь бальзамический, береза, дуб черешчатый, лох, вяз обыкновенный, клен ясенелистный, акация белая, каштан, облепиха, ель голубая, ясень обыкновенный, ива белая, ива плакучая, черемуха, рябина, лиственница. Кустарники 13 видов: кизильник блестящий, клен татарский, ирга, сирень обыкновенная, сирень венгерская, жасмин лечебный, жимолость обыкновенная и татарская, смородина золотистая, тамарикс, западная туя, спирея, шиповник.

Парк им. В. И. Ленина располагается в контуре улиц: проспект Парковый, улица Рыбаковская, проезд Коммунаров, переулок Госпитальный. Год закладки – 1935. Первая закладка сада произведена в 1892 году в треугольнике нынешнего парка, примыкающего к Парковому проспекту. Позже была произведена закладка сада во втором треугольнике, примыкающем к проезду Коммунаров. Основным посадочным материалом были тополь черный (осокорь), тополь белый, вяз обыкновенный, вяз мелколистный. В 1935 году при реконструкции сада под парк было высажено много клена ясенелистного, вяза мелколистного, ясеня обыкновенного.

Зеленые насаждения общего пользования г. Оренбурга

Зеленые насаждения	Наименование	Площадь, га
Парки	Парк им. В. А. Перовского	5,2
	Парк им. 50-летия СССР	16,0
	Парк им. Л. А. Гуськова	12,0
	Этнографический парк «Национальная деревня»	13,1
	Парк им. В. П. Чкалова в Зауральной роще	50
	Парк им. 50-летия ВЛКСМ	10
	Парк им. В. И. Ленина	6,5
Сады	Сад семейного отдыха «Тополя»	3,6
	Сад им. Октябрьской революции	3,49
	Сад им. С. М. Цвиллинга	3,2
	Сад им. М. В. Фрунзе	4,8
Бульвары	Пушкинский бульвар на Набережной	2,2
Скверы	Сквер у кинотеатра «Сокол»	1,0
	Сквер около «Дома памяти»	0,5
	Сквер у ДК «Россия»	0,5
	Сквер им. Г. К. Орджоникидзе	0,6
	Сквер у Вечного огня	1,7
	Сквер им. Ф. Э. Дзержинского с памятником Ф. Э. Дзержинскому	2,0
	Сквер у кинотеатра «Союз»	1,2
	Сквер «Аллея победы»	2,9
	Сквер у завода «Инвертор»	2,0
	Сквер у памятника Ю. А. Гагарину	1,6
	Сквер им. Митрополита Леонтия	1,0
	Сквер по улице Степана Разина (от ул. Туркестанской до ул. Чкалова)	2,3
	Сквер у здания администрации Южного округа города Оренбурга	1,0
	Сквер у Дома Советов	1,1
	Сквер на ул. Восточной	1,0
	Сквер им. П. А. Кобзева	0,4
	Сквер 8-го марта	0,7
	Сквер Четвертого апреля	1,2
	Ленинский сквер	0,9
	Сквер им. П. Д. Осипенко	0,5
	Сквер по ул. Новой	1,0
	Привокзальный сквер	0,2
	Сквер на ул. Ткачева	1,0
Сквер на ул. Химической	0,6	
Сквер у плавательного бассейна «Дельфин»	0,3	
Сквер по ул. Терешковой	2,3	
Суммарная площадь, га		159,59

Парк им. В. А. Перовского располагается в контуре улиц: проспект Парковый, улица Постникова, улица Цвиллинга. Год закладки – 1936. Парк имеет неправильную трапециевидальную форму. Планировка сада регулярная. В первоначальном составе зеленых насаждений сада были:

сосна обыкновенная, лиственница сибирская, вяз обыкновенный, дуб черешчатый, сирень обыкновенная, карагана древовидная или акация желтая. За 145 лет существования сада значительно поменялось его дендрологическое содержание. Исчезли сосны (произошло их отмирание), пос-

ле революции вырубili лиственницы. В конце 1970-х – начале 1980-х годов при строительстве плавательного бассейна и спортзала вырубili почти все белые тополя. Пропала сирень, которая была основным кустарником парка. Из-за значительного выпада деревьев и кустарников парк оголился. В течение многих лет находится в стадии одичания, превращается в заросли клена ясенелистного. По материалам инвентаризации 1936–1938 годов клен ясенелистный среди других пород составлял 20 %, в 1971 году – уже 40 %. Наступление клена ясенелистного на детский парк продолжается. В 2006 году парк переименован в честь военного губернатора В. А. Перовского после реконструкции части территории парка со стороны улицы Постникова. Со стороны улицы Постникова установлен бюст В. А. Перовскому.

Парк им. В. П. Чкалова в Зауральной роше находится на левом берегу Урала против высокого Крепостного яра. Год закладки – 1940. Парк им. В. П. Чкалова – благоустроенная прибрежная часть зеленого массива Зауральная роша. Дендрологический состав насаждений: тополь черный, тополь серебристый или белый, ива белая или серебристая, вяз обыкновенный, дуб черешчатый, тополь бальзамический, вяз мелколистный, береза, лиственница, сирень обыкновенная, карагана древовидная или акация желтая. В послевоенный период в рошу внедрился клен ясенелистный, вытесняющий другие породы. В 2006 году выполнено благоустройство парка с устройством дорожно-тропиночной сети, построены спортивные площадки, детский автодром, установлены беседки, восстановлено освещение, выполнена прочистка территории от поросли с корчевкой пней, убраны сухостойные деревья.

Парк им. 50-летия СССР располагается в контуре улиц: улица Театральная, проспект Дзержинского, улица Брестская. Год закладки – 1972. Особенность парка: своеобразный парк-дендрарий для проверки приживаемости (акклиматизации и интродукции) большого перечня деревьев и кустарников, высаженных делянками. Лиственных деревьев здесь 17 видов: береза бородавчатая, вяз мелколистный, дуб черешчатый, ива прутьевидная, клен татарский, клен остролистный, клен ясенелистный, липа мелколистная, рябина обыкновенная, тополь бальзамический, тополь пирамидальный Болле, черемуха обыкновенная, черемуха виргинская, яблоня сибирская, яблоня дичка, ясень обыкновенный, вяз обыкновенный. Лиственных кустарников 20 видов: барбарис, боярышник, вишня кустарниковая, ирга обыкновенная, калина, лох узколистный, шиповник, сирень обыкновенная, сирень венгерская, смородина золотистая, снежногидник, вишня войлочная, пузыреплодник калинолистный, скумпия обыкновенная, карагана древовидная или желтая акация, шефердия серебристая, облепиха, жестер

слабительный, чубушник венечный. Хвойные деревья: лиственница сибирская, сосна обыкновенная, ель голубая.

Парк им. 50-летия ВЛКСМ располагается в контуре улиц: улица Карагандинская, улица 60 лет Октября, улица Марины Расковой. Год закладки – 1968. Лесной массив под парк в 19,8 га заложен в 1962 году. Состав насаждений массива: сосна обыкновенная, ясень обыкновенный, вяз мелколистный. Парк не достроен, заброшен. Территория зеленого массива сократилась до 10 га. Сосна исчезла. В настоящее время на месте парка – лесополоса [2].

Общая площадь официально заявленных озелененных территорий составляет 159,59 га, из них на Центральный район города Оренбурга приходится 16,59 га (доля озеленения равна 0,19 %), на Дзержинский район – 36,1 га (доля озеленения 0,28 %), на Ленинский район – 91,8 га (доля озеленения 0,71 %), на Промышленный район – 15,1 га (доля озеленения 0,52 %). Удельный вес озелененных территорий в целом по городу Оренбургу составляет 0,43 %, что не соответствует норме.

Нормативные площади общегородских озелененных территорий общего пользования в городе Оренбурге должны составлять 10 м²/чел. (так как город относится к категории крупных городов). Также следует отметить, что площадь озелененных территорий общего пользования в поселениях рекомендуется увеличивать для степи и лесостепи на 10–20 %. Таким образом, площадь озелененных территорий общего пользования для города составляет 2,84 м²/чел., что не соответствует норме, равной 10 м²/чел.

Озелененные территории являются основополагающими точками в формировании карты-схемы экологического каркаса г. Оренбурга (рисунок). Именно их площадь, территориальное размещение относительно промышленных и жилых зон, а также видовой и формовой состав древесно-кустарниковой флоры дают представление о каркасе города и возможностях его развития.

Для наглядного изображения схемы экологического каркаса города Оренбурга составлена карта в геоинформационной системе ArcGis 10.3. Первым шагом в составлении карты было получение изображения города со спутника, второй шаг – наложение городских улиц, водотоков, водоемов, а также оцифровка зеленых насаждений города, третий шаг – нанесение на составленную основу зеленых насаждений общего пользования г. Оренбурга с присвоением каждому типу отличительного знака, последним шагом являлось нанесение на основу зеленых коридоров города.

В Оренбурге основными экологическими коридорами выступают межквартальные и внутридворовые зоны. Парки, сады, скверы являются наиболее важными узловыми точками экологи-

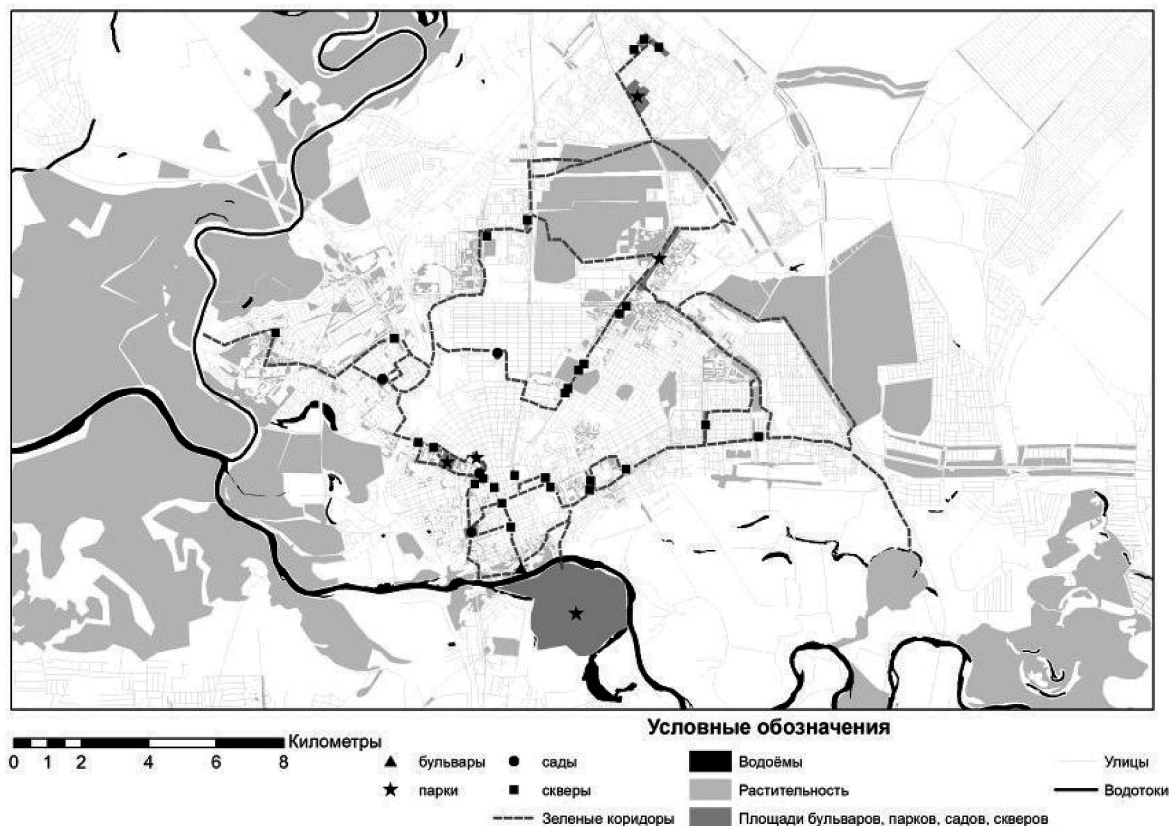


Схема природно-экологического каркаса города Оренбурга

ческого каркаса, которые составляют опору для всех его зон, лучевых межквартальных и зональных связей. Все эти объекты системы озеленения сильно отличаются по-своему функциональному, рекреационному и структурному отношению. В них варьирует видовой состав зеленых насаждений. Выполняя важнейшую рекреационную роль, они являются основным резервом живой природы на урбанизированной территории с целым комплексом экологических ниш [1].

Следовательно, основная задача состоит в рациональном использовании действующих элементов зеленого каркаса. При этом необходимо провести реконструкцию существующих парков, садов и скверов, изменение их функциональной структуры с формированием спортивных, детских, развлекательных и прочих тематических парков, создание новых парков внутри экологических зон и на месте их стыка. Некоторые административные районы города подвержены сильному экологическому риску, поэтому в них обязательно следует создавать зоны рекреации и культурного отдыха [3].

Огромную роль в озеленении городов должно сыграть вертикальное озеленение (лианы, кашпо, озеленение лоджий и балконов и т. д.). Вертикальное озеленение в районах с жарким климатом располагают на отnose от наружных стен,

чтобы обеспечить защиту от солнца и устроить тенистые проходы вдоль стен зданий.

В создании и сохранении среды жизни велика роль садов и оранжерей на кровле, совмещаемых с детскими игровыми площадками, местами отдыха, прогулок, детскими плескательными бассейнами. Удаленные от потоков транспорта и людей, эти рекреационные территории могут весьма эффективно использоваться для безопасного отдыха жителей домов. Для их изоляции от осадков и низких температур можно применять трансформируемые светопрозрачные покрытия.

Любую конструкцию можно сделать озеленяемой, в случае если устроить на ней выступы для вьющихся растений, высаженных у основания стены, либо выполнить чередующиеся сквозные, горизонтальные или наклонные проемы, контактирующие с обратной засыпкой, и высадить в них растения.

Специально сконструированные озеленяемые стены позволяют получить экономию материала. Для озеленения лицевой поверхности крайне важно:

- устроить проемы или «карманы» на лицевой поверхности стен с последующим их заполнением естественным грунтом и посадкой растений;
- возводить полностью или фрагментарно подпорные стены из габионовых элементов;

- устраивать пористую (природоподобную) лицевую поверхность, заполняемую грунтом;
 - закреплять многослойной удерживающей сеткой на поверхности скального откоса слой естественного или искусственного грунта с удобрениями и семенами растений;
 - прикреплять к скальному откосу отдельные сборные железобетонные элементы с последующим заполнением пазухи растительным грунтом [4].
- Таким образом, каждый город должен иметь мощный экологический каркас, создаваемый из самых различных озелененных территорий и плоскостей. Чем больше в городе зеленых насаждений, тем здоровее и красивее среда обитания горожан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Георгина И. М. *Ландшафтно-географический подход к конструированию экологического каркаса городов (на примере Ярославля): Автореф. дис. ... канд. географ. наук.* Астрахань, 2006. 18 с.
2. *Город Оренбург. Официальный Интернет-портал [Электронный ресурс].* Режим доступа: <http://www.admin.orenburg.ru/div3624/5655> (дата обращения 22.03.2016).
3. Григорьевская А. Я., Лисова О. С. Зеленые насаждения города Воронежа как элемент многоструктурной системы экологического каркаса // *Геология и природопользование.* 2012. № 2. С. 100–110.
4. Лаппо Г. М. *География городов.* М.: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 1997. 480 с.
5. Мищенко Л. А. *Влияние ландшафтно-экологических факторов на формирование и оптимизацию городской среды.* Воронеж: Квадрат, 1996. 225 с.
6. *Оренбург [Электронный ресурс].* Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Оренбург> (дата обращения 22.03.2016).

Shaykhtudinova A. A., Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation)
Ivleva Ya. S., Orenburg State University (Orenburg, Russian Federation)

URBAN GREENERY AS A PART OF THE ECOLOGICAL FRAMEWORK SYSTEM

The article is concerned with the problem of the urban ecological framework functioning. The ecological framework of the city is represented by parks, gardens, squares, residential areas, large urban cemeteries, boulevards, embankments, interquartile courtyard, and green areas. To visualize the whole image a scheme of the natural-ecological framework of the city was put together for the geographic information system ArcGis 10.3. The problems causing destruction of the ecological framework of Orenburg and deformation in the system of green plantations were identified. The factors leading to irreparable environmental consequences were revealed. A complex of measures on the rational use of the active green frame elements recommended for the process of trees' planting was suggested. A set of different tree species and shrubs adaptable to local climatic and soil conditions was proposed. It is shown that a huge role in the process of urban greening is played by the vertical landscaping and roof gardens' development.

Key words: ecological network, green corridor, Orenburg

REFERENCES

1. Geort'sina I. M. *Landshaftno-geograficheskiy podkhod k konstruirovaniyu ekologicheskogo karkasa gorodov (na primere Yaroslavl'ya): Aftoref. dis. ... kand. geograf. nauk* [Landscape-geographical approach to the design of the ecological network of cities (case study of Yaroslavl)]. Astrahan, 2006. 18 p.
2. *Gorod Orenburg. Ofitsial'nyy Internet-portal* [The City of Orenburg. The official web portal]. Available at: <http://www.admin.orenburg.ru/div3624/5655> (accessed 22.03.2016).
3. Grigor'evskaya A. Ya., Lisova O. S. Green plantations of the city of Voronezh as an element of multi-structural systems of ecological frameworks [Zelenye nasazhdeniya goroda Voronezha kak element mnogostrukturnoy sistemy ekologicheskogo karkasa]. *Geologiya i prirodopol'zovanie.* 2012. № 2. P. 100–110.
4. Lappo G. M. *Geografiya gorodov* [Urban geography]. Moscow, Gumanitarnyy izdatel'skiy tsentr VLADOS Publ., 1997. 480 p.
5. Mishchenko L. A. *Vliyaniye landshaftno-ekologicheskikh faktorov na formirovaniye i optimizatsiyu gorodskoy sredy* [The Influence of landscape ecological factors on the formation and optimization of the urban environment]. Voronezh, Kvadrat Publ., 1996. 225 p.
6. *Orenburg* [Orenburg Wikipedia]. Available at: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Orenburg> (accessed 22.03.2016).

Поступила в редакцию 27.05.2016

ТАТЬЯНА ИГОРЕВНА СЕРГЕЕВА

старший научный сотрудник, Карельское отделение
ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский ин-
ститут озерного и речного рыбного хозяйства имени
Л. С. Берга» (Петрозаводск, Российская Федерация)
karelniorh@mail.ru

АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВНА БАРСОВА

исполняющий обязанности директора, Карельское отделе-
ние ФГБНУ «Государственный научно-исследователь-
ский институт озерного и речного рыбного хозяйства име-
ни Л. С. Берга» (Петрозаводск, Российская Федерация)
avbars@yandex.ru

РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОРЮШКИ (*OSMERUS EPERLANUS* (L.)) ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Корюшка является одним из основных массовых промысловых видов рыб, который всегда занимал первое место в уловах. Авторами проанализированы официальные статистические данные, в том числе по используемым орудиям лова по районам промысла, установлены причины снижения официально фиксируемых объемов добычи. Представлены данные по размерно-весовой и возрастной структуре промысловой части популяции в разных районах озера. Показано, что отличий в линейно-весовых показателях в разных районах озера не наблюдается. Рассмотрена динамика показателей промысловой численности и биомассы корюшки Онежского озера за десятилетний период. В результате анализа выявлено, что запасы корюшки в настоящее время находятся на высоком уровне и имеют тенденцию к росту.

Ключевые слова: вылов, возрастной состав, линейно-весовой рост, промысловый запас, численность, биомасса

Онежское озеро – второй по площади и второй по рыбопромысловой значимости водоем среди промысловых водоемов региона Европейского Севера России. Относится к бассейну Балтийского моря, расположен на водосборе р. Свири (Ладожское озеро). В озеро впадают 52 реки длиной более 10 км и порядка тысячи малых рек и ручьев. Высота над уровнем моря 33,3 мБС. Котловина тектонического генезиса. Сток зарегулирован, озеро является частью Верхне-Свирского водохранилища (создано в 1951–1953 годах). Главные притоки – Водла, Шуя и Суна обеспечивают в среднем 58 % речного прихода водного баланса озера. Вытекает из озера р. Свирь, впадающая в Ладожское озеро. Онежское озеро – объект совместного пользования трех субъектов Российской Федерации. В административных границах Республики Карелия (РК) находится около 835 тыс. га зеркала (86,1 % от общей площади), южная часть относится к Вологодской и Ленинградской областям (119 тыс. га и 15,3 тыс. га соответственно) [5]. Основные лимнологические характеристики озера приведены в табл. 1.

Значительные размеры и большой период водообмена (13,6 года) служат причиной консервативности экосистемы. Озеро в основной части своей акватории продолжает сохранять исходный олиготрофный статус. Кормовая база рыб-планктофагов и бентофагов стабильна с тенденцией к небольшому росту [4]. В целом можно констатировать удовлетворительное состояние водной

среды Онежского озера для воспроизводства и нагула всей ихтиофауны.

Онежское озеро занимает первое место среди рыбохозяйственного фонда Карелии по объему вылова рыбы. Анализ официальных статистических данных свидетельствует о значительных колебаниях вылова рыбы в озере: в среднем за пятилетия от 1,1 тыс. т (1996–2000) до 2,8 тыс. т (1986–1990). За период 2005–2010 годов общий объем рыбодобычи по данным официальной статистики был относительно стабилен, в среднем – 2,1 тыс. т (колебания от 2,0 до 2,4). В 2011 году вылов рыбы снизился на треть и составил около 1,4 тыс. т. В 2012–2013 годах вылов рыбы по водоему увеличился до 1,6–1,7 тыс. т, но не достиг объемов предыдущих лет. В 2014 году заявленный вылов составил всего чуть более тысячи тонн, причем наибольшее падение отмечено для массовых видов рыб – корюшки и ряпушки, составляющих наибольшую долю в уловах (80–85 %). Средний объем вылова рыбы в 2011–2015 годах составил порядка 1,4 тыс. т (рис. 1).

Корюшка европейская *Osmerus eperlanus* (L.) пресноводная жилая форма – самая массовая пелагическая рыба Онежского озера, встречающаяся по всей его акватории. Основные места лова корюшки – в восточной части Онежского озера от мыса Бесов Нос до мыса Кочкоनावолок, в Петрозаводской губе и в южной части озера (район Андомы Вологодской области). Ранее корюшка вы-

Таблица 1
Лимнологические показатели
Онежского озера*

Показатель	
Площадь водосбора, включая зеркало, км ²	66284
Площадь зеркала, км ²	9720
Объем водной массы, км ³	295
Длина береговой линии, км	1810
Длина озера, км	248
Ширина наибольшая, км	96
Максимальная глубина, м	120
Средняя глубина, м	30
Прозрачность, м	4–5
Минерализация, мг/л	39–46
Цветность, град.	20–30
Суммарный азот, мг/л	0,52–0,65
Общий фосфор, мкг/л	10–14
pH	6,4–8,1
Биомасса фитопланктона, мг/л	0,5–2,5
Биомасса зоопланктона, г/м ³	0,1–0,5
Биомасса бентоса, г/м ²	1,1–1,5
Число видов рыб	36
Рыбопродуктивность, кг/га	1,9–2,7

Примечание. * – данные взяты из [6].

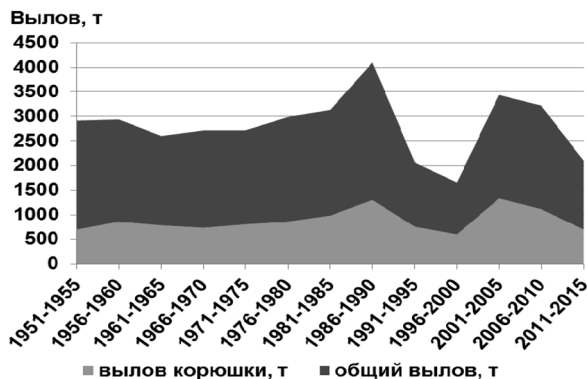


Рис. 1. Динамика вылова корюшки и общего вылова промысловых видов рыб в Онежском озере, т

лавливалась главным образом (до 80 %) в период нерестовой путины (май) ставными неводами и мережами. С 2000 года, наряду с традиционными обловами корюшки, в карельской акватории озера стал широко применяться траловый лов на местах ее нагульных скоплений. Траловый лов нагульной корюшки проводился в центральном Онеге (восточный и западный районы, со второй половины июня – в июле), при этом доля корюшки в уловах составляла 95–98 %.

В 2006–2010 годах уловы корюшки стабилизировались в среднем на уровне 1,2 тыс. т. Наметившееся затем уменьшение общих объемов

добычи корюшки связано с постоянно снижающимся спросом на данный вид рыбопродукции, особенно в карельской части водоема, и, как следствие, потерей рентабельности данного вида промысла. Таким образом, уменьшение официально фиксируемых объемов добычи наиболее массового вида рыб в Онежском озере имеет под собой экономическое обоснование и не связано с уменьшением запасов.

В Онежском озере обитают две экологические формы корюшки: озерно-речная и озерная. Озерно-речная форма размножается в реках Шуя, Водла, Андома, Мегра, Вытегра и др. Озерная форма живет и размножается в озере и составляет основу промысла в водоеме [2].

Возрастной состав нерестовых популяций корюшки в разные годы подвержен значительным колебаниям, что связано с урожайностью тех или иных поколений. Обычно в уловах доминируют две (3–4-годовики) или три возрастные группы (3–5 или 2–4-годовики). И только урожайные поколения преобладают в уловах на протяжении двух лет. Так, поколение 2006 года рождения составляло половину уловов в 2008 и 2009 годах, а поколение 2012 года рождения – 40 и 34 % улова в 2014–2015 годах (табл. 2). Соответственно средний возраст рыб в уловах за 10 лет колебался от 3,3 (2008) до 4,6 года (2013).

Отличие от ряпушки существенной разницы в размерно-весовых показателях в разных районах озера у корюшки не наблюдается. Можно отметить лишь небольшое превышение средних показателей массы и длины корюшки во всех возрастных группах из Петрозаводской губы по сравнению с корюшкой соответствующего возраста из района Андомы, что, по-видимому, связано с более благоприятными условиями питания в Петрозаводской губе. По темпу роста онежская корюшка – одна из самых тугорослых. Годовые приросты половозрелых особей (в возрасте 2–6 лет) по массе тела составляют 1,2–1,8 г, по длине 0,5–0,8 см (табл. 3).

Расчет численности и биомассы промыслового запаса корюшки проводился по схеме когортного анализа [7] с использованием значений естественной смертности, определенной по методу Л. А. Зыкова [3]. Значение относительной величины нерестового потенциала (SSB*) корюшки составляет 45 % для возраста рекрута 2 года, что свидетельствует о благополучном состоянии запаса этого вида и возможности наращивания промысла.

Численность промыслового запаса корюшки Онежского озера в среднем за 10 лет составила 1620 млн экз., изменяясь от 1200 (2006) до 2100 млн экз. (2008). Промысловая ихтиомасса соответственно – 9,4 тыс. т, варьируя от 6,0 (2006) до 11,3 тыс. т (2015) (рис. 2). В многолетнем аспекте промзапас корюшки Онежского озера имеет тенденцию к росту. По данным А. А. Бабия

Таблица 2

Возрастной состав нерестовой корюшки Онежского озера в промысловых уловах, %.

Год	Возраст, лет							N, экз.
	2	3	4	5	6	7	8 и >	
2006	2,0			26,0	5,0			200
2007	3,5	43,5	32,5	17,5	3,0			200
2008	45,3	15	19,5	9,7	6,8	2,5	1,2	300
2009	13,2	51,4	20,6	9,6	3,8	0,8	0,6	500
2010	19,1	39,8	25,5	11,6	2,4	0,9	0,6	480
2011	34,7	38,1	18,1	6,1	2,3	0,8		270
2012	2,0	34,5	34,0	26,5	3,0			200
2013		17,8	36,6	27,4	9,6	8,1	0,5	197
2014	8,9	40,2	35,9	11,0	2,5	0,4	1,1	281
2015	11,7	30,4	34,3	15,8	5,8	0,8	1,2	240
Среднее	14,1	34,3	29,2	16,1	4,4	1,4	0,5	2868

Таблица 3

Линейно-весовой рост нерестовой корюшки из промысловых уловов в разных районах Онежского озера (средние значения за 2006–2015 годы)

Район лова	Возраст, лет							Средние	n
	2	3	4	5	6	7	8 и >		
	Масса, г								
Петрозаводская губа (Республика Карелия)	4,1	5,3	6,6	7,8	9,5	11,5	16,3	6,14	1055
Район Андомы (Вологодская область)	3,8	5,1	6,2	6,9	8,7	10,0	15,6	5,71	1513
	Длина AD, см								
Петрозаводская губа (Республика Карелия)	8,5	9,0	9,7	10,2	11,0	11,4	12,4	9,45	1055
Район Андомы (Вологодская область)	8,2	8,9	9,6	10,0	10,6	10,9	12,4	9,20	1513

[1], в среднем в 1986–1990 годах он составлял 5,9 тыс. т, в 1993–1995 годах – 6,5 тыс. т и в 1999–2003 годах – 8,1 тыс. т.

Возраст кульминации промысловой ихтиомассы у онежской корюшки приходится на первую возрастную группу (двухлеток), что обусловлено, с одной стороны, высоким уровнем воспроизводства, а с другой – интенсивной элиминацией рыб уже в раннем возрасте. При этом темп эли-

минации оказывается таким, что его не компенсирует непрерывно протекающий весовой рост рыб (табл. 4).

Таблица 4

Численность (N) и биомасса (B) промыслового запаса корюшки Онежского озера (средние значения за 2010–2015 годы)

Возраст	N, млн шт.	B, тыс. т
2	732	3,2
3	419	2,8
4	229	1,9
5	120	1,25
6	59	0,7
7	27	0,4
8	11	0,15
Всего	1597	10,4

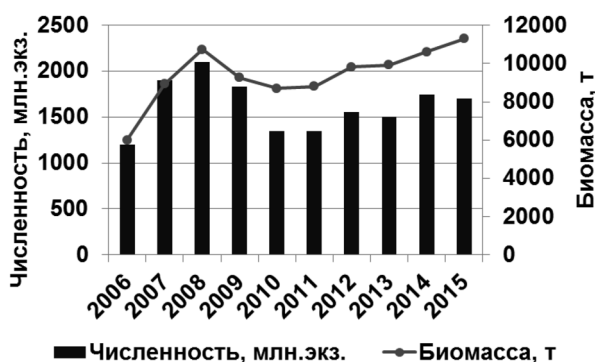


Рис. 2. Промысловая численность и биомасса корюшки Онежского озера

Таким образом, корюшка в Онежском озере является массовым короткоцикловым видом, определяющим промысловые возможности водоема. Ее запасы в настоящее время находятся на высоком уровне, что позволяет изымать из водоема до 1,8–2,0 тыс. т рыбопродукции ежегодно.

Снижение вылова корюшки связано с условиями нерестовой путины в том или ином году, организационными вопросами на промысле и реализацией рыбы. Биологические показатели корюшки

в настоящее время пребывают в оптимальных значениях. В уловах доминируют половозрелые рыбы в возрасте 2–5 лет, массой 4–8 г и длиной 8–10 см.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабий А. А. Рыбохозяйственная система Онежского озера: прошлое и настоящее // Рыбное хозяйство. 2007. № 6. С. 83–87.
2. Биоресурсы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 272 с.
3. Зыков Л. А. Метод оценки коэффициентов естественной смертности, дифференцированных по возрасту рыб // Известия ГосНИОРХ. 1986. Вып. 243. С. 14–22.
4. Калинин Н. М., Тимакова Т. М., Куликова Т. П., Чекрыжева Т. А., Рябинкин А. В., Сярки М. Т., Теканова Е. В., Полякова Т. Н. Гидроэкологические исследования ИВПС на водоемах Карелии // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований: Материалы юбилейной конф., посвящ. 15-летию ИВПС. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 273–294.
5. Озера Карелии: Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
6. Онежское озеро: Атлас. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.
7. Pope J. G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis // ICNAF. Res. Bull. 1972. Vol. 9. P. 65–74.

Sergeeva T. I., Federal State Budgetary Scientific Establishment “Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries” Karelian branch (Petrozavodsk, Russian Federation)

Barsova A. V., Federal State Budgetary Scientific Establishment “Berg State Research Institute on Lake and River Fisheries”, Karelian branch (Petrozavodsk, Russian Federation)

FISHERY VALUE OF ONEGA LAKE SMELT (*OSMERUS EPERLANUS* L.) IN MODERN CONDITIONS

The article is concerned with the value of smelt inhabiting fisheries of Karelian Lake Onega. Smelt is one of the main commercial fish species in the region. It was always ranked first in regional catches. The authors analyze official statistics on the volume of fish harvesting. Statistical data on fishing gear employed in the fish harvesting process were also studied. The reasons of the officially recorded decline in the fish harvesting volume are researched. Multiple data on the size, weight and age structure of the commercial part of fish population in different areas of the lake are presented. The study revealed no significant differences in the size-weight performance of the fish from different areas of the lake. A slight excess in the average weight and length in the smelt of all ages in the Karelian part of Onega Lake was registered. Smelt of the same age found in the Vologda part of the lake did not show any significant changes. Indicators reflecting the last decade's dynamics in the numerical strength and biomass of Onega smelt are studied. As a result of the analysis it was revealed that the smelt's fish stock is currently at its highest level and has tendency to increase.

Key words: catch, size-weight composition, age structure, fishery resources, abundance, biomass

REFERENCES

1. Babiy A. A. Fisheries management system of lake Onega: the past and the present [Rybokhozyaystvennaya sistema Onezhskogo ozera: proshloe i nastoyashchee]. *Rybnoe khozyaystvo*. 2007. № 6. P. 83–87.
2. *Biorekursy Onezhskogo ozera* [Biological resources of lake Onega]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2008. 272 p.
3. Zыков Л. А. Method for estimating the coefficients of natural mortality differentiated by age of fish [Metod otsenki koefitsientov estestvennoy smertnosti, differentsirovannykh po vozrastu ryb]. *Izvestiya GosNIORKh*. 1986. Issue 243. P. 14–22.
4. Kalinkina N. M., Timakova T. M., Kulikova T. P., Chekryzheva T. A., Ryabinkin A. V., Syarki M. T., Tekanova E. V., Polyakova T. N. IITS hydroecological studies on water bodies of Karelia [Gidroekologicheskie issledovaniya IVPS na vodoemakh Karelii]. *Vodnye resursy Evropeyskogo Severa Rossii: itogi i perspektivy issledovaniy: Materialy yubileynoy konferentsii, posvyashchennoy 15-letiyu IVPS*. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2006. P. 273–294.
5. *Ozera Karelii: Spravochnik* [Lakes Of Karelia. The manual]. Under the editorship of N. N. Filatov, V. I. Kuharev. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2013. 464 p.
6. *Onezhskoe ozero. Atlas* [Onego Lake. Atlas]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2010. 151 p.
7. Pope J. G. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis // ICNAF. Res. Bull. 1972. Vol. 9. P. 65–74.

Поступила в редакцию 07.04.2016

УДК 582.29

АЛИСА АСТАМУРОВА СМЫР

преподаватель кафедры географии биолого-географического факультета, Абхазский государственный университет (Сухум, Абхазия), научный сотрудник, Рипинский реликтовый национальный парк (Гудаута, Абхазия)
alisa04.06@mail.ru

ЛЮДМИЛА ВЛАДИМИРОВНА ГАГАРИНА

младший научный сотрудник лаборатории лишенологии и бриологии, Ботанический институт имени В. Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
gagarinalv@binran.ru

РЕДКИЕ ВИДЫ РОДА *USNEA* DILL. EX ADANS РИЦИНСКОГО РЕЛИКТОВОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА (АБХАЗИЯ)

На территории Рипинского реликтового национального парка выявлено 14 видов лишайников из рода *Usnea*, из которых 5 видов являются новыми для Абхазии, 11 видов – для Рипинского реликтового национального парка. Составлен ключ для их определения, приведены морфолого-анатомические и хемотаксономические особенности новых для Абхазии видов.

Ключевые слова: Абхазия, Рипинский реликтовый национальный парк, лишайники, эпифиты

Рипинский реликтовый национальный парк (РРНП) располагается в горной части Абхазии, на южном склоне Главного Кавказского хребта. Его общая площадь 390 км². Парк создан с целью сохранения уникальных объектов природы и растительного мира. Рельеф территории сложен и многообразен. Минимальная высота территории над уровнем моря – 107 м у Голубого озера, максимальная – вершина Агепста – 3256 м. Здесь высокие горы сочетаются с глубокими ущельями и узкими каньонами. Климат РРНП очень разнообразен – от умеренно-теплого в нижней части до холодного в верхней части [1].

Целью настоящего исследования является изучение лишайников из рода *Usnea* на территории Рипинского реликтового национального парка.

Род *Usnea* включает около 300 видов, распространенных в различных климатических зонах. Все виды этого рода – эпифиты, обитающие на коре и ветвях деревьев, реже на камнях [3], [4].

Исследование проводили в период с 2013 по 2015 год, сбор материала осуществляли при помощи метода пробных площадей. Размер пробных площадей 50 × 50 м. В пределах каждой площадки исследовали 10 древесных пород I, II, III классов бонитета методом случайной выборки. Далее описывали тип сообщества, определяли координаты точки сбора с помощью GPS-навигатора. Для каждой древесной породы определяли возраст при помощи бурения, а также окружность ствола при помощи сантиметра на высоте 1,5 м и высоту ствола при помощи высотомера Nikon Pro. С каждого дерева собирали все виды эпифитных лишайников. Собранные образцы упаковывали в бумажные конверты с указанием этикеточных данных.

Собранные образцы определяли в лаборатории лишенологии и бриологии Ботанического

института им. В. Л. Комарова РАН (г. Санкт-Петербург) при помощи стандартных морфолого-анатомических и хемотаксономических методов. Из морфолого-анатомических методов в работе использованы сравнительно-морфологический и сравнительно-анатомический методы. В лаборатории изучение образцов проводили на микроскопах проходящего света «Микмед 5» и «Zeiss Primo Star» и стереоскопическом микроскопе «Микромед МС 2». Из хемотаксономических методов использовали цветные реакции и метод тонкослойной хроматографии. При определении видов использовали следующие реактивы: КОН (К), 10 % р-р, J/KJ (J) – 1 мг J₂ в 100 мл 10 %-ного р-ра КJ. При определении лишайниковых веществ использовали метод тонкослойной хроматографии (Thin Layer Chromatography или TLC) на пластинках. TLC проводили по стандартной методике [6], [9]. Капли полученного ацетонового экстракта наносили на пластинку, покрытую тонким слоем силикагеля, и разгоняли в системе растворителей А (смесь 180 мл толуола, 45 мл диоксана и 5 мл ледяной уксусной кислоты). Полученные хроматограммы изучали в УФ-свете после предварительной обработки 10 % раствором серной кислоты в этиловом спирте и нагревания.

Обработка материала проводилась на базе лаборатории лишенологии и бриологии. При определении материала использованы последние ключи [7], [8], [11], [12], [13] и гербарные материалы БИН РАН. Проверка правильности определения материала осуществлялась Л. В. Гагариной.

В результате обработки материала на территории Рипинского реликтового национального парка выявлено 14 видов лишайников из рода *Usnea*, из которых 5 видов являются новыми для Абхазии, 11 видов – для РРНП. Ниже приводим ключ

для их определения, а также морфолого-анатомические и хемотаксономические особенности новых для Абхазии видов с указанием мест сбора. Ключ для определения видов составлен на основе изучения протологов видов и последних ключей, ссылки на которые даны выше. Морфолого-анатомические особенности видов даны на основании изученных образцов и литературных данных [4], [10], [14]. Географическое распространение приведено на основании изучения ряда источников [2], [5]. Материалы хранятся в гербарии лаборатории лихенологии и бриологии БИН РАН (LE).

Ключ для определения видов

1. Таллом повисающий 2
 - Таллом полуповисающий или в виде торчащего кустика 8
 2. Таллом > 60 см дл *U. longissima*
 - Таллом < 60 см дл. 3
 3. Ветви не разделены на сегменты поперечными перетяжками по всему таллому. . . 4
 - Ветви разделены на сегменты поперечными перетяжками по всему таллому . 7
 4. Ветви одинаковые по толщине, не ямчатые, без углублений 5
 - Ветви неодинаковые по толщине, ямчатые, с углублениями . . . *U. barbata*
 5. Основание черное. Ветвление различно, папиллы присутствуют или отсутствуют, сердцевина рыхлая или плотная 6
 - Основание зеленоватое или коричневатое. Ветвление различно, папиллы присутствуют или отсутствуют, сердцевина рыхлая или плотная. . . . 7
 6. Таллом в нижней части довольно густо ветвящийся. Ветви извилистые. Папиллы присутствуют. Сердцевина рыхлая *U. plicata*
 - Ветвление таллома одинаково по всей длине. Ветви не извилистые. Папиллы либо присутствуют, либо отсутствуют. Сердцевина плотная. Очень изменчивый вид *U. dasypoga*
 7. Центральный тяж белый. Членики цилиндрические. Папиллы отсутствуют или редки. Сердцевина рыхлая *U. chaetophora*
 - Центральный тяж красноватый или коричневатый (очень редко белый). Членики по форме напоминают кость. Папиллы отсутствуют. Сердцевина плотная. *U. trichodea*
 8. С апотециями 9
 - Без апотециев 10
 9. Таллом полуповисающий. Диск апотециев Pd-, KC- *U. intermedia*
 - Таллом кустистый. Диск апотециев Pd+ желтеет, KC+ краснеет *U. florida*
 10. Папиллы отсутствуют. Таллом в виде торчащего кустика, изидии и сорали многочисленные *U. hirta*
 - Папиллы присутствуют. Признаки иные. . 11
 11. Ветви неодинаковой толщины, неправильно извилистые. Сорали точковидные. *U. diplotypus*
 - Ветви более или менее одинаковой толщины. Сорали различные. 12
 12. Изидии отсутствуют. 13
 - Изидии многочисленные. Кустик торчащий или полуповисающий. *U. subfloridana*
 13. Ветвление изотомически-дихотомическое. Кора толстая. 14
 - Ветвление анизотомически-дихотомическое. Кора тонкая. *U. lapponica*
 14. Сорали точковидные, всегда дискретные. *U. glabrescens*
 - Сорали ямчатые, полностью окружают ветви. *U. fulvoraegens*
- Usnea chaetophora* Stirt. (s. str.), 1883, Scott. Naturalist Nov. Ser. 1: 76.**
Синонимы: *Usnea leiopoga* Stirt.
Таллом 20–50 см длиной, мягкий, повисающий, умеренно или густо ветвящийся, бледно- или интенсивно-зеленый. Основание неясное или несколько оттянутое, толстоватое, незачерненное, иногда с узкой зачерненной зоной, постепенно переходящее в ветви таллома. Дихотомически разветвленный. Фибриллы довольно редкие. Соредии и изидии отсутствуют. Сердцевина рыхлая. Апотеции редкие или отсутствуют.
Сердцевина при действии К краснеет, от Р золотисто желтеет, от С и КС не изменяется. Содержит усниновую и салациновую кислоты.
Важными признаками являются повисающий таллом, отсутствие (или наличие в небольшом количестве) фибрилл, отсутствие изидий и наличие на ветвях трещин, которые делят ветви на сегменты.
В пихтовом лесу на коре *Abies nordmanniana* и на *Betula litwinowii* в криволесье. Породы значительного возраста. Местообитание хорошо освещено и увлажнено. Вид довольно редко встречается на территории РРНП.
Исследованные образцы: РРНП, по тропе на оз. Мзы, N 43°31'12.2", E 040°36'08.4", на коре *Betula litwinowii*, 13.06.2013, А. А. Смыр, Л. В. Гагарина (ПП № 3); долина р. Ауадхара (близ источника), N 43°30'27.4", E 040°38'58.6", на коре *Abies nordmanniana*, 14.06.2013, А. А. Смыр, Л. В. Гагарина (ПП № 6).
Распространение: на Кавказе вид известен из Краснодарского края (Россия), Европы, Северной Америки, Азии. Данный вид и все последующие не включены в Красные книги субъектов Южного и Северо-Кавказского федеральных округов РФ и сопредельных стран.
***Usnea diplotypus* Vain. (s. str.), 1925, Medd. Soc. Fauna Fl. Fenn. 48:172.**
Синонимы: *Usnea diplotypa* Vain.
Таллом до 5 см высотой, в виде прямо стоящего торчащего кустика, в верхней части ветвяще-изогнутый, бледно- или слабо-желтовато-зеленый, матовый, нередко дивергентно

разветвленный от самого основания. Основание короткое, но иногда до 7 мм длиной, жесткое, с узким затемненным пояском, иногда с многочисленными поперечными трещинками. Сорали многочисленные. Апотеции обычно отсутствуют. Сердцевина белая, рыхлая.

Сердцевина при действии Р желтеет, затем окраска переходит в оранжевую, от К желтеет, затем быстро становится ярко-красной, от С не изменяется. Содержит усниновую и салациновую кислоты.

Важными признаками являются наличие кустистого таллома, ветвей неодинаковой толщины и точковидных соралей.

В букво-пихтовом и пихтовом лесах на коре *Fagus orientalis*, *Abies nordmanniana* и в пойменных лесах на *Alnus barbata*. Породы значительного возраста, местообитание в разной степени освещено и увлажнено. Скорее всего, вид является редким на территории Абхазии.

Исследованные образцы: РРПП, по тропе на оз. Мзы, N 43°31'04.9", E 040°36'43.1", на коре *Fagus orientalis*, 13.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 4); долина р. Ауадхар (пансионат), N 43°30'00.9", E 040°39'48.8", на коре *Abies nordmanniana*, 14.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 7); по дороге на пер. Пыв, N 43°29'26.5", E 040°40'47.9", на коре *Fagus orientalis*, 15.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 10); долина р. Лашпсы, N 43°30'23.6", E 040°39'01.5", на коре *Alnus barbata*, h = 1534 m, Гагарина Л. В. (320_2013 LG).

Распространение: известен с юго-западного Кавказа, Россия (Краснодарский край, Карелия), Европа.

Usnea glabrescens (Nyl. ex Vain.) Vain. (s. str.), 1919, *Luonnon Ystävä* 23:9. ≡ *Usnea barbata* var. *glabrescens* Nyl. ex Vain.

Синонимы: *Usnea compacta* Motyka.

Таллом до 10 см длиной и шириной, в виде торчащего или слегка повисающего кустика, серовато- или серовато-желтовато-зеленоватый, жесткий, разветвленный и растопыренный в разные стороны от самого основания, с характерными, грациозно удаленными кончиками ветвей. Сорали округлые, плоские или слабоогнутые, рассеянные, мучнистые. Фибриллы немногочисленные. Таллом обычно стерильный, апотеции образуются очень редко. Коровой слой тонкий, сердцевина белая.

Сердцевина при действии К краснеет, иногда не реагирует, от Р глубоко желтеет, до оранжевого, от С и КС не изменяется в окраске. Содержит усниновую, норстиктовую и салациновую кислоты.

Важными признаками являются изотомически-дихотомическое ветвление, наличие папилл и точковидных соралей.

На коре *Betula litwinowii* в криволесье и на коре *Abies nordmanniana* значительного возраста в пихтовом лесу. В хорошо освещенном и увлажненном местообитании. Вероятно, число находок данного вида будет возрастать.

Исследованные образцы: РРПП, по тропе на оз. Мзы, N 43°31'12.2", E 040°36'08.4", на коре *Betula litwinowii*, 13.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 3); по тропе на оз. Мзы, N 43°31'04.9", E 040°36'43.1", на коре *Abies nordmanniana*, 13.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 4).

Распространение: Европа, Азия, Северная и Центральная Америка, по всей лесной зоне России, на Кавказе вид известен из Грузии, Дагестана, Армении.

Usnea intermedia (A. Massal.) Jatta (s. str.), 1909, *Flora Ital. Cryptog.* 3:145 (1909). ≡ *Usnea barbata* var. *intermedia* A. Massal.

Синонимы: *Usnea barbata* f. *intermedia* (A. Massal.) Arnold, *Usnea intermedia* (A. Massal.) Jatt.

Таллом повисающий; основание бледное или почерневшее, многочисленные фибриллы; обильны сосочки, бородавчатые или цилиндрические; сорали отсутствуют; апотеции на концах первичных и вторичных ветвей, аскоспоры 7–8,5 мкм длиной. Кора тонкая; сердцевина тонкая, рыхлая. Диск апотециев К-, Р-. Содержит салациновую и процетраривую кислоты.

Важными признаками являются наличие апотециев и отрицательные реакции диска апотециев.

На коре *Fagus orientalis*, *Abies nordmanniana*, *Acer trautvetteri*, *Betula litwinowii* и *Alnus barbata* значительного возраста, местообитание в разной степени освещено и увлажнено. Вероятно, число находок данного вида будет только увеличиваться.

Исследованные образцы: РРПП, долина р. Ауадхара (правый берег), N 43°32'06", E 040°38'03", на коре *Abies nordmanniana*, 12.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 1); по тропе на оз. Мзы, N 43°31'12.2", E 040°36'08.4", на коре *Betula litwinowii*, 13.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 3); по тропе на оз. Мзы, N 43°31'04.9", E 040°36'43.1", на коре *Abies nordmanniana*, *Fagus orientalis*, 13.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 4); у подножья хр. Ацетука, N 43°30'23.6", E 040°33'01.5", на коре *Abies nordmanniana*, *Fagus orientalis*, 14.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 5); по дороге на пер. Пыв, N 43°29'26.5", E 040°40'47.9", на коре *Abies nordmanniana*, *Acer trautvetteri*, *Fagus orientalis*, 15.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 10); долина р. Лашпсы, N 43°30'23.6", E 040°39'01.5", h = 1534 m, на коре *Alnus barbata*, Гагарина Л. В. (320_2013 LG).

Распространение: Европа, Россия (центральная часть), на Кавказе вид известен из Грузии, Дагестана.

Usnea trichodea Ach. (s. str.), 1803, *Method. Lich.*:312

Синонимы: *Usnea barbata* var. *trichodea* (Ach.) Hook.

Таллом повисающий, 10–30 см длиной, сегментирован, серовато-зеленоватый или зеленый, без фибрилл, с апотециями. Центральный тяж красноватый или коричневатый, редко белый, сердцевина плотная. Основание незачер-

ненное. Сорали, изидии, папиллы отсутствуют. Серцевина при действии К желтеет, от Р глубоко желтеет, до оранжевого, КС желтеет. Содержит констиковую, диффрактовую и салациновую кислоты.

В буково-пихтовом лесу на коре *Abies nordmanniana* значительного возраста, в хорошо освещенном и сильно увлажненном местообитании. Вид является редким на исследуемой территории. Вероятно, распространен единично.

Исследованные образцы: РРНП, долина р. Ауадхар (близ источника), N 43°30'27.4", E 040°38'58.6", на коре *Abies nordmanniana*, 14.06.2013, Смыр А. А., Гагарина Л. В. (ПП № 6).

Распространение: Северная Америка, Европа, на Кавказе вид известен из Грузии.

Таким образом, в результате проведенных исследований рода *Usnea* на территории РРНП выявлено 14 видов, из которых 5 являются новыми для Абхазии, а 11 – для РРНП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адзинба З. И., Попов К. П. Общая физико-географическая характеристика // Ричинский реликтовый национальный парк. 2005. С. 5–15.
2. Бархалов Ш. О. Флора лишайников Кавказа. Баку: Элм, 1983. 338 с.
3. Жизнь растений. Т. 3 / Под ред. М. М. Голлербаха. М.: Просвещение, 1981. 487 с.
4. Определитель лишайников России. Т. 6. / Под ред. Н. С. Голубковой. СПб.: Наука, 1996. 203 с.
5. Флора споровых растений Грузии (конспект) / Под ред. И. Г. Нахуцришвили. Тбилиси: Мецниереба, 1986. 889 с.
6. Culberson C. F., A m m a n n K. Standardmethode zur Dünnschichtchromatographie von Flechtensubstanzen // Herzogia. 1979. Bd. 5. S. 1–24.
7. Fos S., Clerc P. The lichen genus *Usnea* on *Quercus suber* in Iberian Cork-Oak forests // The lichenologist. 2000. Vol. 32. Part 1. P. 67–88.
8. Halonen P., Clerc P., Goward T., Brodo I., Wulff K. Synopsis of the Genus *Usnea* (Lichenized Ascomycetes) in British Columbia, Canada // The Bryologist. 1998. Vol. 101. Part 1. P. 36–60.
9. Kranner I., Beckett R. P., Varma A. K. Protocols in lichenology. Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg, 2002. 580 p.
10. Nordic lichen flora / Edited by A. Thell, R. Moberg. 2011. Vol. 4. 205 p.
11. Ohmura Y. A Synopsis of the Lichen Genus *Usnea* (Parmeliaceae, Ascomycota) in Taiwan // Mem. Natl. Mus. Nat. Sci., Tokyo. 2012. Vol. 48. P. 91–137.
12. Randle T., Tõrra T., Saag A., Saag L. Key to European *Usnea* species // Bibliotheca Lichenologica. 2009. Vol. 100. P. 419–462.
13. Saag L., Tõrra T., Saag A., Del-Prado R., Randle T. Phylogenetic relations of European shrubby taxa of the genus *Usnea* // The Lichenologist. 2011. Vol. 43. Part 5. P. 427–444.
14. The lichens of British Columbia. Illustrated Keys. Part 2 – Fruticose Species by Trevor Goward (Illustrations by Trevor Goward). Ministry of Forests Research Program. 1999. 320 p.

Smyr A. A., Abkhazian State University (Sukhum, Abkhazia), Ritsa National Relict Park (Gudauta, Abkhazia)

Gagarina L. V., Komarov Botanical Institute (St. Petersburg, Russian Federation)

RARE SPECIES OF LICHEN GENUS *USNEA* DILL. EX ADANS OF RITSA RELICT NATIONAL PARK (ABKHAZIA)

The article is concerned with study of lichens growing on the territory of Abkhazia. In the course of the practical research, 14 species of lichens from the genus *Usnea* were identified on the territory of Ritsa Relict National Park. Five species are new to Abkhazia, eleven species are new for the Ritsa Relict National Park. A key for their determination, as well as morphological and anatomical, chemotaxonomical features are presented.

Key words: Abkhazia, Ritsa Relict National Park, lichens, epiphytes

REFERENCES

1. Adzinba Z. I., Popov K. P. General physical-geographical characteristics [Obshchaya fiziko-geograficheskaya kharakteristika]. *Ritsinskiy reliktovyi natsional'nyy park*. 2005. P. 5–15.
2. Barkhalov Sh. O. *Flora lishaynikov Kavkaza* [Lichen flora of Caucasus]. Baku, Elm Publ., 1983. 338 p.
3. *Zhizn' rasteniy* [The life of plants]. Ed. by M. M. Gollerbakh. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1981. Vol. 3. 487 p.
4. *Opredelitel' lishaynikov Rossii* [Determinant of lichen of Russia]. St. Petersburg, 1996. Vol. 6. 203 p.
5. *Flora sporovykh rasteniy Gruzii (konspekt)* [Flora of the spore-bearing plants of Georgia]. Tbilisi, 1986. 889 p.
6. Culberson C. F., A m m a n n K. Standardmethode zur Dünnschichtchromatographie von Flechtensubstanzen // Herzogia. 1979. Bd. 5. S. 1–24.
7. Fos S., Clerc P. The lichen genus *Usnea* on *Quercus suber* in Iberian Cork-Oak forests // The lichenologist. 2000. Vol. 32. Part 1. P. 67–88.
8. Halonen P., Clerc P., Goward T., Brodo I., Wulff K. Synopsis of the Genus *Usnea* (Lichenized Ascomycetes) in British Columbia, Canada // The Bryologist. 1998. Vol. 101. Part 1. P. 36–60.
9. Kranner I., Beckett R. P., Varma A. K. Protocols in lichenology. Springer-Verlag, Berlin & Heidelberg, 2002. 80 p.
10. Nordic lichen flora / Edited by A. Thell, R. Moberg. 2011. Vol. 4. 205 p.
11. Ohmura Y. A Synopsis of the Lichen Genus *Usnea* (Parmeliaceae, Ascomycota) in Taiwan // Mem. Natl. Mus. Nat. Sci., Tokyo. 2012. Vol. 48. P. 91–137.
12. Randle T., Tõrra T., Saag A., Saag L. Key to European *Usnea* species // Bibliotheca Lichenologica. 2009. Vol. 100. P. 419–462.
13. Saag L., Tõrra T., Saag A., Del-Prado R., Randle T. Phylogenetic relations of European shrubby taxa of the genus *Usnea* // The Lichenologist. 2011. Vol. 43. Part 5. P. 427–444.
14. The lichens of British Columbia. Illustrated Keys. Part 2 – Fruticose Species by Trevor Goward (Illustrations by Trevor Goward). Ministry of Forests Research Program. 1999. 320 p.

Поступила в редакцию 15.04.2016

ВЯЧЕСЛАВ ИВАНОВИЧ БУКИН

доктор химических наук, профессор кафедры химии и технологии редких и рассеянных элементов факультета химии и технологии редких элементов и материалов электронной техники, Московский институт тонких химических технологий (Москва, Российская Федерация)

andreev@psu.karelia.ru

ВЛАДИМИР ПЕТРОВИЧ АНДРЕЕВ

доктор химических наук, профессор кафедры молекулярной биологии, биологической и органической химии эколого-биологического факультета, заведующий лабораторией биологически активных природных и синтетических органических соединений Института высоких биомедицинских технологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

andreev@psu.karelia.ru

ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ СОБОЛЕВ

кандидат химических наук, доцент кафедры молекулярной биологии, биологической и органической химии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

16862.10.ns@gmail.ru

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ПАЛЛАДИЯ (II) С БРОМИДОМ ТРИОКТИЛПРОПАРГИЛАММОНИЯ

Рассматривается комплексообразование палладия (II) с бромидом триоктилпропаргиламмония. Методами электронной и инфракрасной спектроскопии показано, что комплексы состава 1:1 и 1:2 в водно-толуольных смесях образуются с участием тройной связи. Предполагается, что как ацетиленовые четвертичные аммониевые соли, так и их комплексы с солями палладия могут проявлять противомикробное и противоопухолевое действие. Описаны условия очистки, выделения и концентрирования палладия экстракционным методом, которые защищены патентом.

Ключевые слова: координация, комплексообразование, апоптоз, экстракция, палладий, нуклеофильность, четвертичные аммониевые соли

В основе физиологической активности аминов [4] лежит их способность образовывать водородные, ковалентные и ионные связи, которые определяют способность аминов приближаться к рецепторному сайту в организме, реагировать с ним и образовывать, нарушать или модифицировать химические связи. Даже проницаемость клеточной мембраны зависит от того, в каком виде находится аминогруппа. Например, для четвертичных аммониевых оснований она понижена (ацетилхолин не проникает через гематоэнцефалический барьер), при наличии же в равновесной смеси даже небольшого количества свободного амина проникновение через мембрану может иметь место [4]. Все это должно быть справедливо (с некоторыми особенностями) и по отношению к ацетиленовым аминам и четвертичным аммониевым солям (ЧАС).

В последнее время металлы платиновой группы находят все более широкое применение в

биологии и медицине, например в качестве противоопухолевых (цисплатин (цис-диаминдихлорплатина), карбплатин), иммуномодулирующих (эфазол) и других препаратов. Однако, несмотря на значительный терапевтический эффект, лекарственные препараты на основе цис-платины обладают побочным действием (вызывают тошноту, рвоту, расстройство функций костного мозга, являются причиной различных нервных заболеваний). Кроме того, существенным недостатком таких препаратов является их низкая растворимость в воде [5]. Поэтому проводится огромная работа по поиску аналогов этих комплексов, обладающих меньшей токсичностью и более широким спектром противоопухолевой активности. Например, автором работы [6] показано, что соединения палладия оказывают противоопухолевое действие и не обладают выраженным цитотоксическим действием, причем наибольшим противоопухолевым действием на

клетки миеломы SP-2X обладает соединением $\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2$, при инкубации с которым число клеток миеломы снижается на 67 %.

В 2009 году группой исследователей были опубликованы результаты, касающиеся взаимосвязи структуры ЧАС с их апоптогенными свойствами [7]. Выяснилось, что аналогично бактерицидным апоптозиндуцирующим свойствам ЧАС зависят от длины цепи вещества: в частности, эффективным соединением является цетримониум бромид. В связи с этим в настоящей работе исследуется комплексообразование палладия с ацетиленовой четвертичной аммониевой солью – бромидом проп-2-инилтриоктиламмония – методом экстракции 0,025 М раствором ЧАС в толуоле из растворов, содержащих 1 мг/мл палладия с различным содержанием HCl . Полученные данные приведены в табл. 1.

Как видно из представленных данных, с ростом концентрации соляной кислоты в растворе наблюдается понижение коэффициента распределения палладия. При росте концентрации соляной кислоты от 0,67 до 5,72 М D_{Pd} падает с 46,74 до 0,63. Максимальное извлечение палладия ($E_{\text{Pd}} = 98\%$) наблюдается при экстракции палладия из раствора, содержащего 0,67 М соляной кислоты.

Для определения состава экстрагируемого комплекса палладия была изучена экстракция (метод сдвига равновесия) палладия бромидом проп-2-инилтриоктиламмония в толуоле в диапазоне концентраций экстрагента от 0,025 до 0,050 моль/л. Исходный раствор содержал 1,09 мг/мл палладия и 2,9 М HCl . Полученные данные приведены в табл. 2.

Как видно из представленных данных, по мере роста концентрации экстрагента коэффициент распределения палладия возрастает. По тангенсу угла наклона зависимости $\lg D_{\text{Pd}} = f(\lg C_{\text{Э}})$ можно узнать о соотношении металл/экстрагент в экстрагируемом комплексе.

Ввиду того что $\text{tga} = 1,46$, можно предположить, что палладий переходит в органическую фазу с образованием двух комплексов состава палладий/экстрагент 1:1 и 1:2. Похожие данные были получены при изучении экстракции цинка и меди ацетиленовыми ЧАС [1], [2].

В электронных спектрах поглощения экстракта не наблюдается полос, отвечающих иону $[\text{PdCl}_4]^{2-}$, – полосы переноса заряда с максимумом $\lambda = 279$ нм ($\epsilon = 10500$ моль $^{-1}$ см $^{-1}$) и широкой полосы $\lambda = 473$ нм ($\epsilon = 161$ моль $^{-1}$ см $^{-1}$), отвечающей спинразрешенному d-d-переходу. Это исключает существование в органической фазе аниона $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ и говорит о том, что экстракция не идет по механизму анионного обмена, типичного при экстракции аминами.

Наиболее важное изменение при комплексообразовании Pd(II) с бромидом проп-2-инилтриоктиламмония затрагивает полосу поглощения в области 2115 см $^{-1}$, отвечающую за валентные колебания связи $\text{C}\equiv\text{C}$, а также полосу поглощения в области 3311 см $^{-1}$, отвечающую за валентные колебания связи $\text{C}-\text{H}$, прилегающей к тройной связи. При образовании комплекса эти полосы исчезают, что может говорить о координации Pd(II) по тройной связи.

В работах [1], [2], посвященных экстракции цинка и меди ацетиленовыми четвертичными аммониевыми солями, предполагается, что исследуемый экстрагент способен к образованию

Таблица 1
Зависимость коэффициента распределения палладия от концентрации соляной кислоты в растворе. $C_{\text{Э}} = 0,025$ моль/л

$C_{\text{Pd}^{\text{исх}}}$, мг/мл	X_{Pd} , мг/мл	Y_{Pd} , мг/мл	D	$\lg D$	E	$C_{\text{HCl}^{\text{исх}}}$, М	$C_{\text{HCl}^{\text{равн}}}$, М
1,079	0,023	1,056	46,74	1,670	97,91 %	0,670	0,642
1,157	0,116	1,041	9,009	0,955	90,01 %	1,367	1,311
1,111	0,138	0,973	7,057	0,849	87,59 %	2,697	2,604
1,094	0,250	0,845	3,385	0,530	77,19 %	4,418	4,185
1,111	0,683	0,428	0,626	-0,203	38,51 %	5,720	5,348

Таблица 2
Зависимость коэффициента распределения палладия от концентрации экстрагента

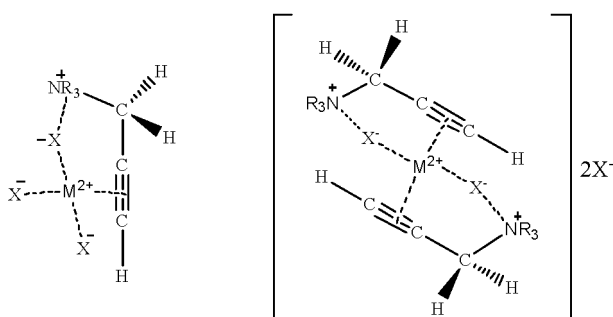
$C_{\text{Э}^{\text{исх}}}$, моль/л	$C_{\text{Э}^{\text{своб}}}$, моль/л	$\lg C_{\text{Э}^{\text{своб}}}$	X_{Pd} , мг/мл	Y_{Pd} , мг/мл	D	$\lg D$
0,025	0,009	-2,036	0,250	0,840	3,360	0,526
0,030	0,013	-1,886	0,186	0,904	4,860	0,687
0,035	0,017	-1,770	0,131	0,959	7,302	0,863
0,040	0,021	-1,672	0,093	0,997	10,68	1,029
0,045	0,026	-1,583	0,084	1,006	11,96	1,078
0,050	0,030	-1,517	0,049	1,041	21,20	1,326

Таблица 3

Реэкстракция палладия различными реэкстрагентами

Реэкстрагент	CPводн, мг/мл	CPорг, мг/мл	1/D	R
8 М HCl	0,930	0,070	13,205	92,96 %
12,5 % NH ₄ OH + 50 г/л NH ₄ Cl	0,103	0,897	0,114	10,26 %
10 % тиомочевина в 1 М HCl	1,038	0,018	57,667	98,30 %

комплексов с координацией металла по тройной связи (рисунок), а не обычных аммониевых солей, образующихся по реакции анионного обмена.



Предполагаемая структура комплексов ацетиленовых ЧАС с ионами палладия, где X – Br, Cl

Таким образом, электронные спектры поглощения, ИК-спектры, а также известные литературные данные [1], [2] позволяют сделать предположение, что палладий образует подобные комплексы с бромидом проп-2-инилтриоктиламония в органической фазе.

С целью выбора эффективного реэкстрагента для реэкстракции палладия из фазы ЧАС была изучена реэкстракция палладия раствором 8 М соляной кислоты, смесью 12,5 % NH₄OH и 50 г/л NH₄Cl и 10 % раствором тиомочевина в 1 М HCl. Реэкстракцию проводили из органических растворов после экстракции, содержащих 1 мг/мл палладия (соотношение водной и органической

фаз 1:1, время контактирования 5 мин.). Полученные данные представлены в табл. 3.

Как видно из полученных данных, наиболее полная реэкстракция палладия осуществляется 10%-ным раствором тиомочевина в 1 М HCl (степень реэкстракции 98 %). Кроме того, для реэкстракции палладия можно использовать соляную кислоту: 8 М HCl реэкстрагирует палладий на 93 %. Использование аммиака для реэкстракции палладия нецелесообразно, так как степень его реэкстракции составляет всего лишь 10 %.

Для промышленного использования экстрагента необходимо было подтвердить возможность его повторного использования. Для этого экстрагент после реэкстракции палладия тиомочевинной отмывали раствором 1 М NaCl за 4 стадии (время контактирования составляло 5 мин.), после чего проводили повторную экстракцию по методике, описанной ранее, из раствора, содержащего 1 мг/мл Pd и 0,5 М HCl. Степень извлечения палладия при использовании регенерированного экстрагента составляет 98 %, то есть практически такая же, как в первом случае (см. табл. 3). Это говорит о том, что экстрагент не разрушается в процессах экстракции и реэкстракции и его можно использовать многократно. Описанные выше условия очистки, выделения и концентрирования палладия экстракционным методом защищены патентом [6].

Таким образом, экстракционным методом показано, что ацетиленовые ЧАС образуют комплексы с солями платины. В дальнейшем нами предполагается исследовать их апоптозстимулирующие свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В. П., Тунина С. Г., Усов В. В., Ремизова Л. А. Экстракция цинка бромидом гепт-2-инилтриоктиламония // Журнал общей химии. 2003. Т. 73. № 7. С. 10941098.
2. Андреев В. П., Тунина С. Г., Ремизова Л. А. Экстракция цинка и меди ацетиленовыми четвертичными аммониевыми солями // Журнал общей химии. 2005. Т. 75. № 5. С. 712718.
3. Букин В. И., Андреев В. П., Соболев П. С., Шестаков Д. С. Способ извлечения палладия из водных растворов солей металлов. Патент РФ № 2574266, 2016.
4. Общая органическая химия: В 12 т. / Под ред. Д. Бартона и У. Д. Оллиса. Т. 3. Азотсодержащие соединения / Под ред. И. О. Сазерленда. М.: Химия, 1982. 736 с.
5. Желиговская Н. Н., Мельников М. Я., Силаев В. Г., Трофимов В. А. Способ получения цис-диаминхлопрокаинатплатины (II) хлорида. Патент РФ № 2151740, 2000.
6. Фомина Н. Ю. Биохимические основы действия соединений палладия на белково-нуклеиновый обмен эукариотических и прокариотических клеток *in vivo* и *in vitro*: Дис. ... канд биол. наук. Краснодар, 2004. 142 с.
7. Ito E., Yip K. W., Katz D. et al. Potential Use of Cetrimonium Bromide as an Apoptosis-Promoting Anticancer Agent for Head and Neck Cancer // Molecular Pharmacology. 2009. Vol. 76. P. 969–983.

Bukin V. L., Moscow Technological University (Moscow, Russian Federation)
Andreev V. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Sobolev P. S., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

PALLADIUM (II) COMPLEXATION WITH BROMIDE OF TRIOCTYLPROPARGYLAMMONIUM

The complexation of palladium (II) with bromide of trioctylpropargylammonium is examined. The methods of electron and infrared spectroscopy demonstrated that the complexes of compositions 1:1 and 1:2 in water-toluene mixtures are formed with the help of the triple bond. It is assumed that both acetylenic Quaternary ammonium salts and their complexes with palladium salts can exhibit antimicrobial and antitumor activity. Protected by a patent, conditions of purification, separation and concentration of palladium by method of extraction are described.

Key words: coordination, complexation, apoptosis, extraction, palladium, nucleophilicity, Quaternary ammonium salts

REFERENCES

1. Andreev V. P., Tunina S. G., Usov V. V., Remizova L. A. Extraction of Zinc with Hept-2-ynyltrioctylammonium Bromide. *Russian Journal of General Chemistry*. 2003. Vol. 73. № 7. P. 1036–1039.
2. Andreev V. P., Tunina S. G., Remizova L. A. Extraction of Zinc and Copper with Acetylenic Quaternary Ammonium Salts. *Russian Journal of General Chemistry*. 2005. Vol. 75. № 5. P. 672–678.
3. Bukin V. I., Andreev V. P., Sobolev P. S., Shestakov D. S. *Sposob izvlecheniya palladiya iz vodnykh rastvorov soley metallov*. Patent RF № 2574266, 2016 [Method of isolation of palladium from aqueous solutions of metal salts Patent. RF № 2574266, 2016].
4. *Obshchaya organicheskaya khimiya: V 12 t.* [General organic chemistry]. D. Barton, U. D. Ollis (ed.). Vol. 3. Moscow, Khimiya Publ., 1982. 736 p.
5. Zheligovskaya N. N., Mel'nikov M. Ya., Silaev V. G., Trofimov V. A. *Sposob polucheniya tsis-diaminklorprokainatplatiny (II) khlorida*. Patent RF № 2151740, 2000 [Method of synthesis of cis-diaminechloroprokainplatina(II) chloride. Patent RF № 2151740, 2000].
6. Fomina N. Yu. *Biokhimicheskie osnovy deystviya soedineniy palladiya na belkovo-nukleinovyy obmen eukarioticheskikh i prokarioticheskikh kletok in vivo i in vitro: Dis. ... kand. biol. nauk* [Biochemical basis of action of compounds of palladium on protein-nucleic acid the exchange of eukaryotic and prokaryotic cells in vivo and in vitro: Kand. biol. sci. diss.]. Krasnodar, 2004. 142 p.
7. Ito E., Yip K. W., Katz D. et al. Potential Use of Cetrimonium Bromide as an Apoptosis-Promoting Anticancer Agent for Head and Neck Cancer // *Molecular Pharmacology*. 2009. Vol. 76. P. 969–983.

Поступила в редакцию 04.10.2016

ЕЛЕНА ВАЛЕНТИНОВНА ТЕКАНОВА

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
etekanova@mail.ru

ЕЛЕНА МИХАЙЛОВНА МАКАРОВА

младший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
emm777@bk.ru

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ РЕКИ НЕЛУКСА (КАРЕЛИЯ)

Река Нелукса относится к категории малых рек, расположена в окрестностях г. Петрозаводска (Карелия, Россия) и впадает в Онежское озеро. На водосборе р. Нелукса находятся городская свалка ТБО, поверхностный сток с которой поступает в реку, и дачные кооперативы. В сентябре 2014 года оценено эколого-санитарное и санитарно-бактериологическое состояние воды р. Нелукса. В качестве микробиологических индикаторов использованы общее количество бактерий, сапрофитные бактерии, олигокарбофильные бактерии, общие колиформные бактерии, углеводородокисляющие бактерии. В условиях маловодности года и малого количества атмосферных осадков выявлено загрязнение речной воды органическим веществом со стороны городской свалки твердых бытовых отходов (г. Петрозаводск) и дачных кооперативов. В результате разбавления и самоочищения эколого-санитарное состояние воды в нижнем течении реки оценено как хорошее – вода соответствовала β-мезо-олигосапробному классу и категории «чистая/удовлетворительно чистая». В то же время санитарно-бактериологическая обстановка во всех изученных точках реки в период исследований была неблагоприятной, количество санитарно-показательной микрофлоры значительно превышало значения, установленные для вод рекреационного использования.

Ключевые слова: биоиндикация, река Нелукса, Онежское озеро, микробиологические показатели, качество воды, сапробность

Бактерии, обладая высокой пластичностью и регенеративной способностью, являются хорошими индикаторами даже небольших изменений условий среды. Реакция бактериоценозов на поступление в водные объекты загрязняющих веществ проявляется в изменении количественных и функциональных показателей развития тех эколого-трофических групп бактерий, которые используют это вещество в качестве энергетического и конструктивного субстрата. В процессе утилизации загрязняющих веществ происходит самоочищение воды. Эти свойства бактерий определяют использование микробиологических показателей для выявления того или иного загрязнения воды, ее качества, для характеристики санитарного состояния водоемов и процесса самоочищения.

Весьма актуальной задачей представляется оценка современного эколого-санитарного состояния малых рек наиболее урбанизированной территории Карелии – г. Петрозаводска и его окрестностей. Реки Лососинка, Неглинка, Нелукса находятся в условиях хронического многофакторного воздействия городской среды. В то же время водотоки несут рекреационную нагрузку и, явля-

ясь притоками Онежского озера, могут оказывать влияние на качество воды прилегающих участков водоема. Так, выполненная в 2002–2003 [7] и 2011–2012 годах [6] оценка состояния воды рек Лососинка и Неглинка по микробиологическим показателям выявила ухудшение качества воды и неблагоприятную санитарно-бактериологическую обстановку на городских участках этих рек по сравнению с загородными.

Река Нелукса протекает вне пределов г. Петрозаводска, но на ее водосборе находятся городская свалка твердых бытовых отходов (ТБО) и дачные кооперативы. Целью настоящей работы была индикация воды р. Нелукса по микробиологическим показателям в связи с антропогенной нагрузкой на водоток.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Река Нелукса находится в Прионежском районе Карелии на северо-западном побережье Онежского озера и принадлежит к его водосборному бассейну. Нелукса относится к категории малых рек, истекает из оз. Уварово и через 9,7 км впадает в Онежское озеро ниже Петрозаводской губы. В реку поступает поверхностный сток с террито-

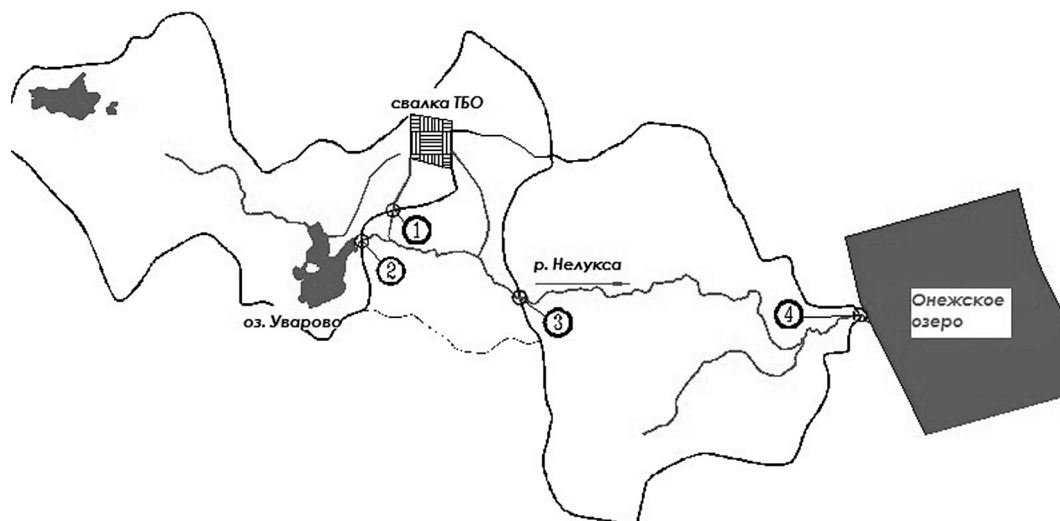


Схема района исследований и расположения точек отбора проб: 1 – мелиоративная канава, 2 – исток р. Нелукса, 3 – среднее течение р. Нелукса, 4 – устьевой участок р. Нелукса

рии городской свалки ТБО по трем мелиоративным канавам – одна впадает в оз. Уварово, две других – непосредственно в водоток.

Пробы воды отбирались в сентябре 2014 года на четырех точках: 1) в мелиоративной канаве, впадающей в реку (точка № 1), 2) в верхнем течении реки на 200 м ниже ее истока из оз. Уварово и выше стока канавы (точка № 2), 3) в среднем течении на 2 км ниже впадения канавы (точка № 3), 4) в устьевом участке на 12 м выше автодорожного моста через реку (точка № 4) (рисунок). В результате маловодности года и низкой межени во время отбора проб сток был обнаружен только в одной из трех канав.

Кроме того, для сравнения микробиологических показателей в этот же период были взяты пробы воды в устьевых участках р. Лососинка и Неглинка, протекающих в черте г. Петрозаводска и впадающих в Петрозаводскую губу Онежского озера. В воде были определены общая численность бактериопланктона (ОЧБ) и количество аэробных и факультативно анаэробных гетеротрофных бактерий нескольких эколого-трофических групп: 1) сапрофитных психрофильных бактерий (СБ) – индикаторов загрязнения воды органическим веществом и активности процесса ее самоочищения, способных расти при высокой концентрации легкоминерализуемого органического вещества, несвойственной природным водам, 2) сапрофитных мезофильных бактерий (общее микробное число, ОМЧ) – санитарно-показательной группы бактерий, потенциально способных существовать в кишечнике теплокровных животных и отражающих общую гигиеническую ситуацию в водном объекте, 3) общих колиформных бактерий (бактерии группы кишечной палочки, БГКП) – санитарно-показательной группы сапрофитных мезофильных бактерий, указывающей на средней давности фекальное загрязнение

и возможную контаминацию воды патогенными микроорганизмами группы кишечной палочки, 4) олигокарбофильных бактерий (ОБ) – условно автохтонных психрофильных бактерий, способных к росту при минимальных концентрациях органического вещества, 5) углеводородокисляющих бактерий (УБ), способных использовать нефтяные углеводороды в качестве единственного источника углерода и отражающих процесс микробальной трансформации нефтепродуктов.

ОЧБ определялась методом прямого счета на трековых мембранах «Nucleopore» (D пор 0,2 μm) путем люминесцентного микроскопирования. Предварительно бактерии окрашивались красителем акридиновым оранжевым [8].

Определение количества гетеротрофных водных бактерий выполнялось способом глубинного посева на агаризованную среду в чашки Петри в 2 повторностях в присутствии контроля стерильности. Предварительно проводилось разведение проб в 10 или 100 раз. СБ выращивались на рыбопептонном агаре при температуре 21 °С, ОМЧ – на рыбопептонном агаре при 37 °С, ОБ – на 10-кратно разведенном рыбопептонном агаре при температуре 21 °С [2]. УБ выращивались при температуре 21 °С на среде Диановой – Ворошиловой с добавлением очищенного агара Дифко. Перед посевом в среду добавлялась солярка, в качестве эмульгатора доляряки использовался ТВИН-80¹. БГКП определялись методом мембранной фильтрации через фильтры Millipore с d пор 0,45 μm . Эта группа бактерий выращивалась на агаризованной среде Эндо при $t = 37$ °С с последующим выполнением отрицательного цитохромоксидазного теста². Результаты выражались в Coli-ind.

Период инкубации колониеобразующих единиц (КОЕ) СБ и ОБ составил 3–5 сут., УБ – до 10 сут., ОМЧ и БГКП – 1 сут.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наибольшее бактериальное загрязнение воды было обнаружено в мелиоративной канаве (точка № 1), по которой осуществляется поверхностный сток с территории городской свалки в р. Нелукса (табл. 1). ОЧБ и все изученные эколого-трофические группы бактерий (за исключением УБ) характеризовались здесь очень высокими показателями количественного развития, указывающими на значительную степень загрязнения воды органическими соединениями. Численности санитарно-показательных микроорганизмов (БГКП и ОМЧ) свидетельствовали о высокой обсемененности воды мелиоративной канавы потенциально патогенной микрофлорой, превышающей нормы для поступающих в водные объекты сточных вод³.

В среднем течении р. Нелукса (точка № 3), ниже стока мелиоративной канавы, ОЧБ и обилие гетеротрофного бактериопланктона всех изученных групп заметно снижались по сравнению с точкой № 1. Более того, ОЧБ, количество ОБ, СБ, ОМЧ и УБ на этой точке оказались даже меньшими, чем в районе вытекания р. Нелуксы из оз. Уварово (точка № 2). Лишь по количеству БГКП исток р. Нелукса являлся наименее загрязненным (см. табл. 1). Так как в оз. Уварово есть сток одной из трех мелиоративных канав с территории свалки ТБО (пересохший во время отбора проб), то сам водоем уже не может считаться фоновым участком. Видимо, уменьшение количества бактерий-индикаторов органического загрязнения ниже стока мелиоративной канавы (точка № 3) происходило не столько за счет разбавления за-

грязнения, сколько вследствие активизации внутриводоемных процессов самоочищения.

В нижнем течении реки (точка № 4) отмечалось дальнейшее снижение ОЧБ и количества ОБ, в то время как численности изученных групп сапрофитных бактерий, в том числе потенциально патогенной микрофлоры, и УБ возрастали по сравнению с точкой № 3 в среднем течении (см. табл. 1). Дополнительным источником загрязнения этого участка доступным органическим субстратом и условно-патогенной микрофлорой может служить терригенный сток с расположенных ниже точки № 3 двух дачных кооперативов «Виктория» и «Нелукса», а также детского лагеря отдыха. Отбор проб воды проходил во время дождя, дожди шли и в предшествующие дни. Учитывая очень малые размеры водотока с небольшим расходом воды и большую крутизну склонов, влияние терригенного стока на водную экосистему проявляется быстро и может быть значительным.

Согласно комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши [3], по величине ОЧБ и количеству СБ вода мелиоративной канавы (точка № 1) в период исследования обладала очень низким качеством, относилась к категории «грязная» и характеризовалась полисапробностью (табл. 2). Процессы самоочищения в мелиоративной канаве, о завершенности которых можно судить по соотношению количества СБ и ОМЧ⁴, протекали недостаточно активно. Индекс загрязненности, рассчитанный по соотношению ОБ и СБ⁵, был очень низким (1,6) и подтверждал высокую степень загрязненности воды.

Таблица 1
Микробиологическая характеристика воды р. Нелукса и мелиоративной канавы в сентябре 2014 года

Точка отбора пробы воды	ОЧБ, × 10 ⁶ кл./мл	ОБ, КОЕ/мл	СБ, КОЕ/мл	УБ, КОЕ/мл	ОМЧ, КОЕ/мл	БГКП, Coli-ind
№ 1	13,40	42160	25940	730	6180	39606
№ 2	3,99	28520	4550	630	249	18001
№ 3	2,20	17930	2360	510	165	28608
№ 4	1,96	10680	2940	910	180	44905

Таблица 2
Состояние воды р. Нелукса и мелиоративной канавы по микробиологическим показателям в сентябре 2014 года

Точка отбора пробы воды	Эколого-санитарное состояние				Санитарно-бактериологическая обстановка
	Индекс загрязненности	Активность процесса самоочищения	Сапробность	Класс качества воды	
№ 1	1,6	Слабая	Полисапробная	5 – грязная	Неблагополучная
№ 2	6,2	Высокая	β-мезосапробная	3 – удовлетворительной чистоты	Неблагополучная
№ 3	7,6	Высокая	β-мезосапробная	3 – удовлетворительной чистоты	Неблагополучная
№ 4	3,6	Высокая	Олигосапробная/ β-мезосапробная	2 – чистая/ 3 – удовлетворительной чистоты	Неблагополучная

На обследованных участках р. Нелукса процессы самоочищения протекали активно, индекс загрязненности повышался и указывал на снижение степени загрязненности воды по сравнению с мелиоративной канавой (см. табл. 2). Некоторое снижение индекса загрязненности в устьевом участке реки (3,6) по отношению к участку в среднем течении (7,6) отражает ухудшение санитарно-бактериологического состояния воды в устье, а именно существенное возрастание там числа БГКП (см. табл. 1).

Речная вода выше (исток, точка № 2) и ниже (среднее течение, точка № 3) впадения мелиоративной канавы характеризовалась β -мезосапробностью и относилась к категории «удовлетворительно чистая», а в нижнем течении (точка № 4) – промежуточным состоянием β -мезоолигосапробности и категорией «чистая/удовлетворительно чистая» (см. табл. 2).

Санитарно-бактериологическая обстановка, несмотря на определенное снижение обилия БГКП в среднем течении, сохранялась неблагоприятной во всех исследованных участках реки (см. табл. 2). Количество БГКП в 4–9 раз превышало допустимые нормативы, предусмотренные для водных объектов рекреационного использования⁶. Наибольшее их число было обнаружено в мелиоративной канаве (точка № 1) и нижнем течении реки (точка № 3), что указывает на наличие двух основных источников контаминации воды р. Нелукса условно-патогенными микроорганизмами – свалка ТБО и дачные кооперативы.

Количество УБ во всех исследованных участках не превышало 1000 КОЕ/мл, тогда как для индикации значимой степени загрязнения воды нефтепродуктами их численность в воде должна быть более 10^2 – 10^3 КОЕ/мл⁷. Возможно, невысокая активность микробиологической трансформации этих веществ связана с низкой температурой воды, а в мелиоративной канаве и истоке реки еще и с недостатком кислорода для развития процессов биохимического окисления. По уровню развития УБ речная вода может быть охарактеризована как среднезагрязненная нефтяными углеводородами (см. табл. 1), их количество было сопоставимо с численностью УБ в загрязняемой этими веществами Петрозаводской губе Онежского озера [1].

Для сравнительной оценки возможного загрязнения Онежского озера стоком р. Нелукса и другими водотоками урбанизированной территории мы сопоставили количественные характеристики изученных групп бактериопланктона в ее устьевом участке с их количеством в устье рек Лососинка и Неглинка, протекающих в черте г. Петрозаводска (табл. 3). В период исследования в устьевых участках всех трех рек были зарегистрированы сравнимые величины ОЧБ, ОБ (за исключением р. Неглинка) и УБ. Большое

количество ОБ в р. Неглинка имеет природное происхождение и объясняется самой высокой среди этих рек цветностью воды, в среднем 150 град. платиново-кобальтовой шкалы [4]. ОБ, в отличие от СБ, способны использовать в качестве субстрата трудноминерализуемое органическое вещество гумусового происхождения. В то же время в воде р. Лососинка и, особенно, р. Неглинка отмечались значительно большие, чем в р. Нелукса, количества гетеротрофных бактерий – индикаторов загрязнения воды легкоминерализуемым органическим веществом (СБ), в том числе фекального происхождения (БГКП). Реки Лососинка и Неглинка, протекающие в городской черте, находятся под значительно большим антропогенным прессом, чем р. Нелукса.

Таблица 3

Микробиологическая характеристика воды устьевых участков рек урбанизированной территории г. Петрозаводска и его окрестностей в сентябре 2014 года

Показатель	Нелукса	Лососинка	Неглинка
ОЧБ, $\times 10^6$ кл./мл	1,96	1,63	1,96
ОБ, КОЕ/мл	10680	14160	42800
СБ, КОЕ/мл	2940	7150	11700
УБ, КОЕ/мл	910	810	700
ОМЧ, КОЕ/мл	180	3060	2500
БГКП, Coli-ind	44905	60000	145455

Результаты микробиологической оценки воды в устьевом участке р. Нелукса можно сопоставить с нашими данными по прибрежной зоне Пухтинской бухты Онежского озера, расположенной немного южнее устья р. Нелукса и не подвергающейся антропогенному воздействию. В этом участке озера осенью 2014 года ОЧБ находилась в пределах от 1,2 до $1,5 \times 10^6$ кл./мл, количество ОБ – от 23 до 371 КОЕ/мл, СБ – от 4 до 85 КОЕ/мл, Coli-ind не превышал 275–412. Численность изученных групп бактериопланктона в устье рек Лососинка и Неглинка целесообразно сопоставить с соответствующими показателями по Петрозаводской губе Онежского озера. По многолетним данным, ОЧБ в пелагиали Петрозаводской губы в осенний период достигает $0,63$ – $1,64 \times 10^6$ кл./мл, количество ОБ и СБ выше, чем в Пухтинской бухте и Пиньгубе, – от 544 до 1200 КОЕ/мл, СБ – от 554 до 1300 КОЕ/мл [5]. Как видно из табл. 3, ОЧБ в реках незначительно превышает величины, установленные для прилегающих участков озера в осенний период. На порядок более высокое содержание ОБ в реках объясняется более высокой природной цветностью их воды по сравнению с озерной [4]. Значительное превышение, особенно в городских реках, СБ и БГКП свидетельствует о потенциальной возможности загрязнения прилегающих к устьям рек участков Онежского озера легкоминерализуемым ор-

ганическим веществом, в том числе фекального происхождения, и контаминации озерной воды условно-патогенной микрофлорой. Факторами, препятствующими этому, выступают разбавление большим объемом озерной воды, ее высокая гидродинамическая активность и внутриводоемные процессы самоочищения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Река Нелукса загрязняется стоками с территории городской свалки ТБО через мелиоративные каналы и терригенным стоком из дачных кооперативов. За счет разбавления и активизации процессов самоочищения эколого-санитарное

состояние воды в р. Нелукса по большинству из выбранных микробиологических показателей было существенно лучше, чем в мелиоративной канаве, а в приустьевом участке речная вода могла считаться практически чистой. Тем не менее количество санитарно-показательной микрофлоры во всех изученных участках реки значительно превышало значения, свойственные незагрязненным водам. Санитарно-бактериологическая обстановка в реке в период исследований была неблагоприятной, что не исключало потенциальную возможность загрязнения прилегающей к устью р. Нелукса литоральной зоны Онежского озера условно-патогенной микрофлорой.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.; Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 2. Микробиологические методы. М.: СЭВ, 1985. 128 с.

² Методические указания по санитарно-микробиологическому анализу воды поверхностных водоемов / Министерство здравоохранения СССР. М., 1981. 36 с.

³ Гигиенические требования к охране поверхностных вод: Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.1.5.980-00) / Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. М., 2000. 10 с.

⁴ Методические указания по санитарно-микробиологическому анализу воды поверхностных водоемов / Министерство здравоохранения СССР. М., 1981. 36 с.

⁵ Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.

⁶ Гигиенические требования к охране поверхностных вод: Санитарные правила и нормы (СанПиН 2.1.5.980-00) / Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. М., 2000. 10 с.

⁷ Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белкина Н. А., Рыжак А. В., Тимакова Т. М. Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера // *Водные ресурсы*. 2008. Т. 35. № 4. С. 472–481.
- Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
- Оксиюк О. П., Жукин В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши // *Гидробиологический журнал*. 1993. Т. 29. № 4. С. 62–76.
- Сабелина А. В. Современный гидрохимический режим озера // *Онежское озеро. Экологические проблемы*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1999. С. 58–108.
- Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. База данных «Планктон пелагиали Онежского озера». Свидетельство о государственной регистрации в РФ № 2015620274 от 13 февраля 2015 г.
- Теканова Е. В., Макарова Е. М., Калинин Н. М. Оценка состояния воды притоков Онежского озера в условиях антропогенного воздействия по микробиологическим и токсикологическим показателям // *Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Лимнология*. 2015. № 9. С. 44–52.
- Тимакова Т. М. Микробиологическая оценка состояния урбанизированных притоков Онежского озера // *Социально-экономические аспекты устойчивого развития человечества: Сб. материалов I Междунар. научно-практической конф.* М.: Академия МНЭПУ, 2010. С. 91–98.
- Handbook of methods in aquatic microbial ecology / Ed. by Paul F. Kemp, Barry F. Sherr, Evelin B. Sherr, Jonatan J. Cole. Washington, Levis Publishers, CRC Press LLC, 1993. 800 p.

Tekanova E. V., Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)
Makarova E. M., Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

MICROBIOLOGICAL INDICATIONS OF WATER POLLUTION IN THE RIVER NELUKSA (KARELIA)

The river Neluksa, which is referred to a class of small rivers, is located in the vicinity of Petrozavodsk (Karelia, Russia) and flows into Lake Onego. The water collection point is located close to the Neluksa dacha cooperatives and a city dump of solid wastes. The surface runoffs from this locations flow into the river. The eco-sanitary and sanitary-bacteriological conditions of the water in the river Neluksa (Karelia) were evaluated in September of 2014. A total number of bacteria: saprophytic bacteria, oligotrophic bacteria, coliform bacteria, hydrocarbon-oxidizing bacteria were used as microbiological indicators. The level of water pollution

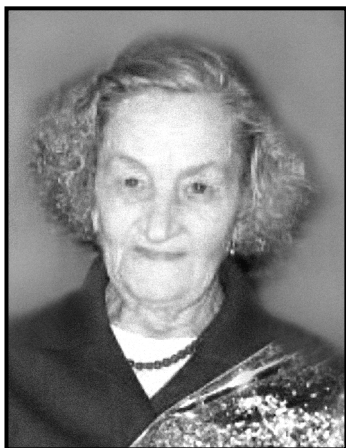
with organic matter coming from the city dump (Petrozavodsk) containing hard domestic wastes and dacha condominiums was established. Due to the natural dilution and self-purification processes ecological and sanitary conditions of the water in the lower reach of the river were rated as good. However, the sanitary-bacteriological situation was unfavorable in all examined points of the river during the study period and the number of sanitary-indicative microflora considerably exceeded the limits for that type of recreational waters.

Key words: bioindication, Neluxsa River, Lake Onego, microbiological indexes, water quality, sanitary probes.

REFERENCES

1. Belkina N. A., Ryzhakov A. V., Timakova T. M. Distribution and transformation of petroleum hydrocarbons in sediments of Lake Onega [Распределение и трансформация нефтяных углеводородов в донных отложениях Онежского озера]. *Vodnye resursy*. 2008. Vol. 35. № 4. С. 472–481.
2. Kuznetsov S. I., Dubinina G. A. *Metody izucheniya vodnykh mikroorganizmov* [Methods of studying aquatic organisms]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 288 p.
3. Oksiyuk O. P., Zhukinskiy V. N., Braginskiy L. P., Linnik P. N., Kuz'menko M. I., Klenius V. G. Complex of ecological classification of surface waters [Комплексная экологическая классификация поверхностных вод суши]. *Gidrobiologicheskij zhurnal*. 1993. Vol. 29. № 4. P. 62–76.
4. Sabylina A. V. Modern hydrochemical regime of the lake [Современный гидрохимический режим озера]. *Onezhskoe ozero. Ekologicheskie problemy*. Petrozavodsk, 1999. P. 58–108.
5. Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzneva T. A. *Baza dannykh "Plankton pelagiali Onezhskogo ozera". Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii v RF № 2015620274 ot 13 fevralya 2015 g.* [Database "Plankton pelagic zone of Lake Onega". Certificate of state registration RF № 2015620274, 2015].
6. Tekanova E. V., Makarova E. M., Kalinkina N. M. Assessment of the state of water tributaries of Lake Onega in the conditions of anthropogenic impact on the microbiological and toxicological indicators [Оценка состояния воды притоков Онежского озера в условиях антропогенного воздействия по микробиологическим и токсикологическим показателям]. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya Limnologiya* [Proceedings of Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences. Limnology Series]. 2015. № 9. P. 44–52.
7. Timakova T. M. Microbiological assessment of urban tributaries of Lake Onega [Микробиологическая оценка состояния городских притоков Онежского озера]. *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Sotsial'no-ekonomicheskie aspekty ustoychivogo razvitiya chelovechestva*. Moscow, 2010. P. 91–98.
8. Handbook of methods in aquatic microbial ecology / Ed. by Paul F. Kemp et al. Washington, Levis Publishers, CRC Press LLC, 1993. 800 p.

Поступила в редакцию 20.07.2016

**АНТОНИНА СТЕПАНОВНА
ЛАНТРАТОВА****(21.12.1923– 23.11.2016)**Широко известный в Карелии, России
и за рубежом специалист-дендролог

А. С. Ланtratова родилась в г. Кириллов Ленинградской области, закончила географический факультет Ленинградского педагогического института имени М. Н. Покровского, где слушала лекции выдающихся педагогов: профессора А. Л. Биркенгофа, члена-корреспондента АН СССР, академика Туркменской АН М. П. Петрова. Училась отлично, была ленинским и сталинским стипендиатом, поступила в аспирантуру. Во время войны жила в блокадном Ленинграде, была в эвакуации. Участвовала в экспедициях АН СССР по разработке Каракумского канала от Ашхабада до Устюрта; по разработке лесных полос в районе движущихся песков и по охране берегов Волги; в горном массиве Сихоте-Алинь на Дальнем Востоке. В 1949 году закончила аспирантуру досрочной блестящей защитой кандидатской диссертации «Белопопынные формации в системе Калмыцкой степи» в научном Совете при ЛГПИ.

С 1952 года начался новый этап в жизни Антонины Степановны, связанный с работой в Карело-Финском государственном университете: доцент кафедры ботаники и физиологии растений, выдающийся методист и прекрасный лектор, незабываемый учитель многочисленных студентов. Большая исследовательская работа была связана с вопросами интродукции растений в условиях Карелии, она стала одним из активнейших организаторов коллекционного фонда древесных растений. Красивые аллеи и групповые посадки лиственниц, пихт, елей и других видов, посаженных А. С. Ланtratовой, являются гордостью коллекционных фондов Ботанического сада ПетрГУ. В 2000 году совместно с сотрудниками сада начались биогеоэкологические исследования новой заповедной территории (около 300 га) как полевого полигона для студенческой практики. А. С. Ланtratова совместно с Е. А. Платоновой возглавляли блок геоботанических исследований.

А. С. Ланtratовой принадлежат более 130 печатных научных работ, она является автором

и соавтором 11 монографий, 2 определителей древесных растений и более 10 методических пособий. Ею разработано около 10 различных курсов для студентов эколого-биологического и лесоинженерного факультетов. Большое число ее бывших студентов-дипломников – кандидаты и доктора наук (Е. Ф. Марковская, Г. С. Антипина, Н. В. Василевская, В. А. Бакалин, А. В. Солина и др.). В. А. Бакалин, защитивший докторскую диссертацию в 2008 году, один из открытых им новых видов печеночников назвал именем своего учителя «*Lophozia Lantratoviae* – Лофозия Ланtratовой». Вид назван в честь карельского ботаника и педагога Антонины Степановны Ланtratовой».

Энциклопедичность знаний, удивительная память, уверенность и смелость позволяли А. С. Ланtratовой братья профессионально за любое новое дело. Популярность Антонины Степановны в Карелии связана с чтением лекций по современным проблемам ботаники перед учителями, а также с организацией и проведением олимпиад школьников по биологии.

В течение 15 лет А. С. Ланtratова была ученым секретарем Ученого совета ПетрГУ. Она всегда была предельно внимательна и требовательна, могла ошибаться, но умела исправлять свои ошибки, прощать ошибки других и уверенно идти вперед.

А. С. Ланtratова имеет звание заслуженного работника образования РК, награждена нагрудным знаком «За отличные успехи в работе и подготовке специалистов», почетными грамотами Президиума Верховного Совета РК и другими наградами. В 2008 году выбрана почетным членом Всероссийского общества ботаников России.

Антонина Степановна останется в нашей памяти светлым человеком, преданным идеалам молодости, научной и педагогической работе.

*Кафедра ботаники и физиологии растений
эколого-биологического факультета ПетрГУ*

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Представляемые рукописи должны соответствовать тематике журнала и содержать материалы, не опубликованные ранее в других изданиях.

Статья предоставляется в распечатанном виде на бумаге формата А4 (в двух экземплярах) и в электронном виде. Печатная версия статьи подписывается всеми авторами.

Объем оригинальной и обзорной статьи не должен превышать один печатный лист. Статья набирается в текстовом редакторе Microsoft Word и сохраняется с расширением.doc. **Поля:** верхнее и нижнее – 2 см, правое и левое – 3 см. Абзацный отступ – 0,5 см. **Шрифт:** Times New Roman, размер – 14 пунктов, список литературы – 12 пт, межстрочный интервал – полуторный. Нумерация страниц – справа внизу страницы.

Статья должна состоять из следующих элементов:

УДК (индекс Универсальной десятичной классификации) в левом верхнем углу.

Сведения об авторе: имя, отчество, фамилия автора(ов) полностью прописными буквами; ученая степень и звание; место работы: должность, кафедра, факультет, вуз, город, страна; электронный адрес, а также контактный телефон и почтовый адрес.

Название статьи жирным шрифтом прописными буквами.

Аннотация (объем от 120 до 250 слов) является кратким резюме большей по объему работы. Аннотация может публиковаться самостоятельно и, следовательно, должна быть понятной без обращения к самой публикации. Она является основным источником информации в отечественных и зарубежных информационных системах и базах данных, индексирующих журнал. Структура аннотации должна повторять структуру статьи и включать введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. Выводы могут сопровождаться рекоменда-

циями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних фраз (например, «автор статьи рассматривает...»), не включать несущественные детали, применять значимые слова из текста статьи. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций. Аннотация предназначена для компетентной аудитории, включая международную, поэтому можно использовать техническую (специальную) терминологию дисциплины. Текст аннотации должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т. д. («consequently», «moreover», «for example», «the benefits of this study», «as a result» etc.), либо разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать один из другого. Необходимо использовать активный, а не пассивный залог (“The study tested”, но не “It was tested in this study”).

Ключевые слова – от 3 до 8 слов (или словосочетаний, несущих в тексте основную смысловую нагрузку).

Список литературы должен быть представлен на отдельных листах в 2 вариантах:

1) на русском языке в соответствии с ГОСТ 7.1–84 «Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления». Цитируемая в статье литература (автор, название, место, издательство, год издания и страницы (от и до или общее количество)) приводится в алфавитном порядке, сначала отечественные, затем зарубежные авторы;

2) список литературы должен быть записан на языке оригинала латинскими буквами (References). Если русскоязычная статья была переведена на английский язык и опубликована

в английской версии, то необходимо указывать ссылку из переводного источника. Как правило, библиографические описания российских публикаций составляются в следующей последовательности: авторы (транслитерация), перевод названия статьи на английский язык, название статьи в транслитерированном варианте в квадратных скобках, название источника (транслитерация, курсив), выходные данные с обозначениями на английском языке.

В тексте статьи ссылка дается в квадратных скобках, через точку с запятой – цитируемая страница, если это необходимо.

Примечания (в том числе архивные и другие источники) даются в виде концевых сносок.

На **английский язык** необходимо перевести ФИО автора(ов), место работы, город, страну; название статьи (оформляется прописными буквами и не содержит артиклей), аннотацию и ключевые слова и разместить данные после списка литературы перед References.

Таблицы – каждая печатается на отдельной странице, нумеруется соответственно первому упоминанию ее в тексте и снабжается заголовком. Таблицы предоставляются в текстовом редакторе Microsoft Word (форматы.doc или docx) или табличном редакторе Microsoft Excel (форматы.xls или.xlsx). **Иллюстрации** (рисунки, фотографии, схемы, диаграммы) нумеруются, снабжаются подписями и предоставляются в виде отдельных растровых файлов (в формате.tif, bmp). В бумажной версии на обороте каждой иллюстрации ставится номер и пометка «верх», «низ». В тексте статьи указывается место таблицы или рисунка. Таблиц и иллюстраций не должно быть более 5.

Правила предоставления иллюстраций. Растровые форматы: рисунки и фотографии должны иметь разрешение не менее 300 dpi (формат.tif), без LZW уплотнения, в градациях серо-

го. Векторные форматы: рисунки должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial.

Правила предоставления диаграмм и графиков. Графики и диаграммы должны быть созданы в табличном процессоре Excel и присылаться вместе с исходными численными данными в одном файле с расширением.xls. При создании графиков и диаграмм следует использовать черный, белый цвета и градации серого, различного типа штриховку; избегать применения трехмерной графики, градиентных заливок и т. д. Все надписи и числа на графиках желательно делать, используя жирный шрифт ArialСyr, размер 14. На самом графике не должно быть названия, оно должно быть отражено в подрисуночной подписи. В виде растрового изображения могут быть представлены графики, полученные с помощью специальных программ статистической обработки.

Требования к математическим формулам. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation (присутствует в составе Word), MathType или символьным шрифтом (надстрочные и подстрочные символы, меню «Вставка», «Символ»). Настоятельно рекомендуется не использовать русские буквы в формулах, набираемых в специальных редакторах. Формулы в виде картинок любого формата не принимаются.

Статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному рецензированию.

Редакция оставляет за собой право внесения в текст редакторских изменений, не искажающих смысла статьи.

Материалы, не соответствующие предъявленным требованиям, редакция не рассматривает.

Решение о публикации принимается редакционными коллегами журнала.

Более подробная информация для авторов дана на сайте журнала: uchzap.petrSU.ru

CONTENTS

GENERAL BIOLOGY

- Vasilevskaya N. V., Morozova D. A.*
POLLEN TERATOMORPHISM OF *SYRINGA JOSIKAEA* JACQ. IN URBAN AREAS OF THE RUSSIAN ARCTIC 7
- Varlamova T. V., Dorshakova N. V., Karapetyan T. A.*
VIRUSES AS COFACTORS OF AUTOIMMUNE TOLERANCE VIOLATION PROCESS 14
- Veselkin D. V., Markovskaya E. F., Betekhtina A. A., Sonina A. V., Sergienko L. A.*
MYCORRHIZAL FORMATION IN VASCULAR PLANTS OF THE WHITE SEA WESTERN COAST 20
- Glazyrina M. A., Lukina N. V., Chukina N. V., Borisova G. G., Okorokova E. S.*
POTENTILLA BIFURCA L. ON THE URALS' ASH DUMPS IN DIFFERENT ZONAL CLIMATIC CONDITIONS 27
- Evstratov I. V., Evstratova L. P.*
SELECTION OF PERSPECTIVE MORPHOTYPES FROM KARELIAN POPULATION OF LOCAL OLONETS BREED OF *PHLEUM PRATENSE* L. 36
- Ermolaeva O. V., Shmakova N. Yu.*
THE GROWTH AND MASS ACCUMULATION OF *HYLOCOMIUM SPLENDENS* IN Khibiny Mountain Forest Belt 40
- Lesonen M. A., Shustov Yu. A., Onishchenko N. A., Onishchenko I. N., Sukhov A. V.*
FEEDING HABITS OF THE RIVER PERCH (*PERCA FLUVIATILIS* L.) FOUND IN KARELIAN LAKE AND RIVER WATERS 46
- Muchnik E. E.*
ADDITIONS TO LICHEN BIOTA OF MOSCOW REGION 52
- Sidorova N. A., Kravtsova A. D., Sergienko L. A., Markovskaya E. F.*
MARINE COMMUNITY MICROBIOCENOSES OF THE WHITE SEA WESTERN COAST 58

- Kutyavina T. I., Ol'kova A. S.*
THE PROBLEMS OF EXPLOITATION AND ECOLOGICAL STATUS OF Omutninsk Reservoir Located in Kirov Region ... 66
- Miskevich I. P., Petrova V. V.*
CONDITIONS OF THE TAIGA TICK (*Ixodes persulcatus*) POPULATION IN Cherepovets 75
- Pavlovskiy E. V., Paukov A. G.*
SPECIES OF *PHACUS* (EUGLENOPHYCEAE) IN WATER BODIES OF Ekaterinburg Area 79
- Sitnikov I. A., Shaikhova D. R., Chukina N. V., Kiseleva I. S.*
AEROTECHNOGENIC POLLUTION EFFECTS ON PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF *SCORZONERA GLABRA* RUPR. 84
- Shaykhutdinova A. A., Ivleva Ya. S.*
URBAN GREENERY AS A PART OF THE ECOLOGICAL FRAMEWORK SYSTEM 91
- Sergeeva T. I., Barsova A. V.*
FISHERY VALUE OF ONEGA LAKE SMELT (*OSMERUS EPERLANUS* L.) IN MODERN CONDITIONS 97
- Smyr A. A., Gagarina L. V.*
RARE SPECIES OF LICHEN GENUS *USNEA* DILL. EX ADANS OF RITSA Relict National Park (Abkhazia) 101
- PHYSICO-CHEMICAL BIOLOGY**
- Bukin V. I., Andreev V. P., Sobolev P. S.*
PALLADIUM (II) COMPLEXATION WITH BROMIDE OF TRIOCTYLPROPARGYLAMMONIUM 105
- Tekanova E. V., Makarova E. M.*
MICROBIOLOGICAL INDICATIONS OF WATER POLLUTION IN THE RIVER NELUKSA (KARELIA). 109
- In memory of A. S. Lantratova** 115
- Info for the authors** 116