
Министерство образования и науки
Российской Федерации

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

№ 6 (151). Сентябрь, 2015

Серия: Естественные и технические науки

Главный редактор
А. В. Воронин, доктор технических наук, профессор
Зам. главного редактора
В. Б. Акулов, доктор экономических наук, профессор
Э. В. Ивантер, доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН
В. С. Сюнёв, доктор технических наук, профессор
Ответственный секретарь журнала
Н. В. Ровенко, кандидат филологических наук

Перепечатка материалов, опубликованных
в журнале, без разрешения редакции запрещена.
Статьи журнала рецензируются

Адрес редакции журнала
185910, Республика Карелия,
г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33.
Тел. (8142) 76-97-11
E-mail: uchzap@mail.ru
uchzap.petsu.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 серии «Естественные и технические науки»

- | | |
|--|---|
| О. Ю. БАРЫШЕВА
доктор медицинских наук
(Петрозаводск) | Н. Н. НЕМОВА
доктор биологических наук,
профессор, член-корреспондент РАН (Петрозаводск) |
| А. Е. БОЛГОВ
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор (Петрозаводск) | Е. И. РАТЬКОВА
кандидат технических наук,
ответственный секретарь серии (Петрозаводск) |
| В. В. ВАПИРОВ
доктор химических наук,
профессор (Петрозаводск) | 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. И. СЫСУН
доктор физико-математических наук,
профессор (Петрозаводск) |
| А. Ю. МЕЙГАЛ
доктор медицинских наук,
профессор (Петрозаводск) | В. В. ЩИПЦОВ
доктор геолого-минералогических наук,
профессор (Петрозаводск) |

Ministry of Education and Science
of the Russian Federation

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

№ 6 (151). September, 2015

Natural & Engineering Sciences

Chief Editor

Anatoly V. Voronin, Doctor of Technical Sciences, Professor

Chief Deputy Editor

Vladimir B. Akulov, Doctor of Economic Sciences, Professor

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

The RAS Corresponding Member

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

Editorial Board of the Series "Natural & Engineering Sciences"

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

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Бахмет И. Н., Де Сауза А. Д. М., Бурузм Л. М.*
Особенности физиологии двустворчатых моллюсков разных зон обитания 7
- Бородулина Г. С., Вапиров В. В., Венкович А. А.*
Селен в подземных водах Карелии 10
- Визер С. А., Ержанов К. Б., Андреев В. П., Ратникова И. А.*
Применение принципов «зеленой» химии в пропаргилировании п-фенилендиамина 15
- Высоцкая Р. У., Шкляревич Г. А., Вдовиченко Е. А., Дивненко В. Ю.*
Лизосомальные ферменты в эколого-биохимических адаптациях мидий и амфипод Кандалакшского залива Белого моря. 22
- Сергиенко Л. А., Мосеев Д. С.*
Таксономическая структура и эколого-географическая характеристика флороценотического комплекса побережий Российской Арктики 28
- Хохлова Т. Ю., Лунина Т. Л.*
Особенности гнездовой биологии и территориального поведения *Actitis hypoleucos* L. в Восточном Приладожье 34
- Дзюбук И. М.*
Биологическая характеристика ерша (*Gymnocephalus cernuus* (L.)) озер Карелии 37
- Кутенков С. А., Миронов В. Л.*
Особенности растительности и торфяных отложений пойменного болота Равдукорби (Карелия) 40
- Мелехин А. В.*
Находки редких и новых для Мурманской области лишайников 48
- Фокина А. И., Олькова А. С., Лялина Е. И., Даровских Л. В.*
Исследование закономерностей биоаккумуляции меди представителями автотрофных и гетеротрофных организмов. 50

МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ

- Божченко А. П., Ригонен В. И.*
Особенности дерматоглифической конституции русских Республики Карелия 56
- Мелентьева А. А., Барышева О. Ю., Тихова Г. П.*
Факторы влияния на выживаемость пациентов с хронической болезнью почек на гемодиализе 60
- Тихонович Э. Л., Везикова Н. Н., Маркелова О. А., Малышева И. Е.*
Эпидемиология, особенности клиники, диагностики и лечения саркоидоза в Карелии 67

- Васендин Д. В.*
Современные подходы к терапии ожирения (обзор литературы) 72

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

- Бахмет О. Н., Федорец Н. Г.*
Эталонные и редкие почвы Зеленого пояса Фенноскандии 81
- Сунгуров Р. В., Сунгурова Н. Р., Гаевский Н. П.*
Оценка методов инвентаризации лесных культур 85
- Тюкавина О. Н., Чуркина Ю. В.*
Влажность древесины тополя бальзамического 89

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Орфинский В. П., Гришина И. Е., Кистерная М. В., Козлов В. А.*
Часовня Знамения Богородицы в деревне Корба: проблемы исследования и хронологической атрибуции. 95
- Вахрамеева Т. И., Гришина И. Е., Кистерная М. В., Козлов В. А., Орлов А. В.*
Строительная история часовни Кирика и Иулиты в заонежской деревне Воробьи 101
- Скобцов И. Г.*
Оптимальное проектирование элементов конструкций лесозаготовительных машин с применением статистической катастрофы сборки 107
- Ковалева Н. В.*
Обоснование технологических решений строительства лесных дорог по критерию прочности дорожного полотна. 111

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Вапиров В. В., Зайцев Д. О.*
Кинетические закономерности реакции гексахлорциклотрифосфата триена с N-оксидом пиридина в смеси органических растворителей в присутствии воды 114
- Рогов А. А., Штеркель И. А.*
Влияние выбора распределения точек изображения графем на распознавание символов методом сравнения форм 118
- Штыков А. С.*
Измерение значений кинетических характеристик плазменно-пылевых структур с помощью высокоскоростной видеосъемки. 121
- Contents** 124

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2008 года

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ РАН

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

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

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

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

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет»

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

Дата выхода в свет 30.09.2015. Формат 60×90^{1/8}. Бумага офсетная. Печать офсетная.
10 уч.-изд. л. Тираж 500 экз. (1-й завод – 155 экз.). Изд. № 298

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

ИГОРЬ НИКОЛАЕВИЧ БАХМЕТ

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
igor.bakhmet@gmail.com

АБЕССА ДЕНИС МОЛЕДО ДЕ САУЗА

доктор биологических наук, старший научный сотрудник подразделения Сан-Висенте ЮНЕСП (Сан-Висенте, СП, Бразилия)
dmabessa@clp.unesp.br

ЛУКАС МОРЕЙРА БУРУЭМ

докторант, старший научный сотрудник подразделения Сан-Висенте ЮНЕСП (Сан-Висенте, СП, Бразилия)
dmabessa@clp.unesp.br

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОЛОГИИ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ РАЗНЫХ ЗОН ОБИТАНИЯ

Проведен анализ сердечной активности двух видов двустворчатых моллюсков: устрицы *Crossastrea brasiliiana* и моллюска *Anomalocardia brasiliiana*, обитающих соответственно на поверхности и внутри грунта. Отмечено резкое различие в сердечной ритмике моллюсков: частота сердечных сокращений устрицы составила 28 ± 1 сокращение в минуту, тогда как сердечная активность второго моллюска отличалась аperiодичностью – от полного отсутствия сокращений в течение 1,5–2 часов до 12 сокращений в минуту. Выявленные различия в физиологии обусловлены образом жизни моллюсков.

Ключевые слова: устрица, аномалокардия, сердечная активность

ВВЕДЕНИЕ

Устрица является типичным представителем эпифауны твердых грунтов. Этот моллюск прикрепляется к субстрату и в дальнейшем не передвигается. Места обитания данного вида характеризуются повышенной гидродинамикой и хорошей аэрацией [1]. Напротив, *A. brasiliiana* является обитателем инфауны мягких грунтов и способна к передвижению на протяжении всего жизненного цикла. В то же время эти виды объединяет, во-первых, способ питания (они являются активными фильтраторами) и, во-вторых, ареал обитания – южная часть Атлантики. Изучению моллюсков посвящено множество работ, как фундаментального, так и прикладного характера [6], [9], [14] и др. Это объясняется, прежде всего, тем, что оба вида являются эдификаторами в популяциях, то есть основными представителями. Кроме того, они служат как виды-биоиндикаторы благодаря высокой чувствительности к поллютантам. Не следует забывать и о высокой пищевой ценности моллюсков.

Как видно из вышеуказанных ссылок, подавляющая часть работ посвящена изучению животных с точки зрения гидробиологии, экологии, биохимии и токсикологии. Исследованию же физиологии данных моллюсков не уделялось внимания. Это объясняется, прежде всего, методическими сложностями [5], [13]. К примеру, широкое использование такого информативного показателя, как скорость сердцебиения, было затруднено из-за различных артефактов, вызван-

ных имплантацией электродов и/или другими повреждающими воздействиями [11]. В последнее время этот недостаток был преодолен благодаря использованию новой методики дистантной регистрации частоты сердечных сокращений [4], [7]. Исследования показали наличие достоверной корреляции между изменениями сердечной ритмики морских беспозвоночных и варьированием природных факторов [2], [8], [10]. В связи с этим нами было проведено исследование: 1) возможности регистрации сердечной ритмики у *C. brasiliiana* и *A. brasiliiana*, учитывая чрезвычайно скульптурированную раковину у первого вида и небольшие размеры второго; 2) собственно сердечной активности у данных видов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты были проведены в лаборатории университета г. Сантос (Бразилия), расположенной на берегу Атлантического океана. Устрицы были получены с фермы по выращиванию моллюсков, а аномалокардия была собрана в заповеднике Кананеа. Моллюски были доставлены в лабораторию в пластиковых аквариумах с морской водой при постоянной аэрации.

Для акклимации к лабораторным условиям моллюски были помещены на 7 дней в аквариумы с морской водой с постоянной продувкой при температуре 25 °С. Ежедневно осуществлялась частичная смена воды. Кормление животных не производилось, чтобы избежать специфического динамического действия пищи. За один день до

эксперимента к раковинам моллюсков в район предполагаемого размещения перикарда были приклеены оптические сенсоры CNY-70, после чего 15 аномалокардий (средняя длина раковины $29,0 \pm 0,3$ мм) и 15 устриц (средняя длина раковины $71,3 \pm 2,1$ мм) были помещены в два отдельных аквариума при тех же условиях.

Через сутки была проведена регистрация сердечной активности моллюсков в течение суток. Использовалась методика дистантной записи сердечной активности, основанная на излучении инфракрасного света в область расположения сердца и регистрации отраженных лучей [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ

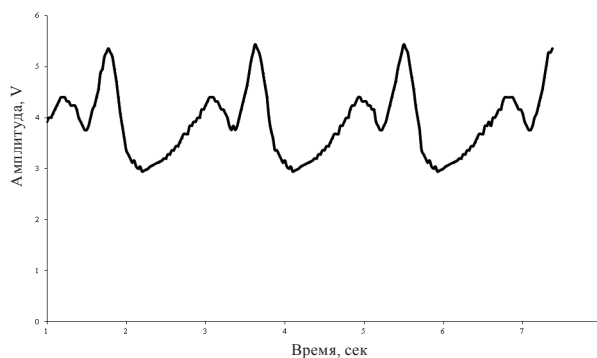
Для получения стабильной записи сердечной ритмики в раковине устрицы мы выпиливали квадратное углубление (глубиной около 2 мм). После нескольких попыток было определено точное место расположения перикарда, которое находится на пересечении двух линий: первая – от umbo до края раковины; вторая – перпендикулярно первой на расстоянии 40 мм от umbo. В случае же аномалокардии место прикрепления датчика находилось на расстоянии 5–6 мм от umbo.

В результате проведенных экспериментов были получены четко выраженные плетизмограммы как у *C. brasiliiana*, так и у *A. brasiliiana* (рисунок). На графике достаточно легко различимы сокращения предсердий (более длительный и менее выраженный пик) и желудочка (более короткий по времени и высокий пик). В то же время сердечная активность устрицы резко отличалась от сердечной ритмики аномалокардии по характеру и частоте сердечных сокращений (ЧСС). ЧСС первого вида варьировала на протяжении суток от 26 до 29 сокращений в минуту и составила в среднем 28 ± 1 .

Сердечная активность аномалокардии изменялась от 0 (то есть полная остановка сердечных сокращений) до 12 сокращений в минуту. Периоды покоя длились от 1 минуты до 2 часов. Никакой периодической зависимости в появлении акардии обнаружить не удалось.

ОБСУЖДЕНИЕ

Хотелось бы подчеркнуть, что нам впервые удалось успешно применить методику дистантной регистрации сердечной активности *C. brasiliiana* и *A. brasiliiana*. Полученный результат показал ярко выраженные различия в сердечной ритмике данных видов. Прежде всего это проявилось в выраженной стабильности ЧСС устрицы в отличие от аномалокардии. Особенно подчеркнем аperiодическую акардию, наблюдавшуюся у *A. brasiliiana*. Данный факт может свидетельс-



Пример стандартной плетизмограммы устрицы и аномалокардии

твовать о резких изменениях уровня метаболизма. Сходная вариабельность уровня потребления кислорода была отмечена у моллюска *Arctica islandica*, который также является типичным представителем инфауны мягких грунтов [3]. Более того, сердечная активность этого вида также аperiодически останавливалась, причем периоды акардии иногда длились более суток [12]. Данный феномен приводит к тому, что у инфаунных моллюсков резко снижена скорость роста. К примеру, в нашем случае самые крупные экземпляры аномалокардии не превышали 32 мм (длина раковины), тогда как раковина устрицы или мидии достигает сходной длины в течение одного года.

Причины пониженного и нестабильного уровня метаболизма у инфаунных моллюсков пока неясны. Одна из возможных причин может заключаться в недостатке пищи, поскольку в условиях инфауны водные потоки снижены по сравнению с эпифауной. Следовательно, скорость доставки фито- или зоопланктона также незначительна. Кроме того, небольшие размеры позволяют моллюскам легче передвигаться в толще грунта.

В заключение хотелось бы остановиться на возможности использования сердечной ритмики *C. brasiliiana* и *A. brasiliiana* при биотестировании природных вод. Исходя из характера сердечной активности данных видов, можно сделать вывод, что стабильная сердечная активность устрицы хорошо подходит для отслеживания изменения параметров окружающей среды, в отличие от аномалокардии. Несомненно, для успешного применения данного параметра необходимы токсикологические эксперименты для оценки чувствительности устрицы к различным поллютантам.

Выражаем признательность сотрудникам ББС ЗИН РАН «Картеш» за неоценимую помощь при проведении экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Жирков И. А. Жизнь на дне. Био-экология и био-география бентоса. М.: МГУ, 2010. 453 с.
- Bakhmet I. N., Berger V. Ja., Khalaman V. V. The effect of salinity change on the heart rate of *Mytilus edulis* specimens from different ecological zones. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2005. Vol. 318 (2). P. 121–126.

3. Begum S., Basova L., Strahl J., Sukhotin A., Heilmayer O., Philipp E., Brey T., Abele D. A metabolic model for the ocean quahog *Arctica islandica* – effects of animal mass and age, temperature, salinity, and geography on respiration rate. *J. Shellf. Res.* 2009. Vol. 28 (3). P. 533–539.
4. Depledge M. H., Andersen B. B. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.* 1990. № 96. P. 474–477.
5. Depledge M. H., Amaral-Mendes J. J., Daniel B., Halbrook R. S., Kloepper-Sams P., Moore M. N., Peakall D. B. The conceptual basis of the biomarker approach. *D. B. Peakall and L.R. Shugart (eds.) Biomarkers: Research and application in the assessment of the environmental health.* NATO ASI Series H: Cell Biology. 1992. Vol. 86. P. 15–29.
6. Lannig G., Flores J. F., Sokolova I. M. Temperature-dependent stress response in oysters, *Crassostrea virginica*: pollution reduces temperature tolerance in oysters. *Aquat Toxicol.* 2006. Vol. 79. P. 278–287.
7. Marshall D. J., McQuaid C. D. Differential physiological and behavioural responses of the intertidal mussels, *Choromytilus meridionalis* (Kr.) and *Perna perna* L., to exposure to hypoxia and air: a basis for spatial separation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1993. Vol. 171 (2). P. 225–237.
8. Marshall D. J., McQuaid C. D. Seasonal and diel variations of in situ heart rate of the intertidal limpet *Siphonaria oculus* Kr. (Pulmonata). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1994. Vol. 179 (1). P. 1–9.
9. Narchi W. Comparative study of the functional morphology of *Anomalocardia brasiliensis* (Gmelin, 1791) and *Tivela mac-troides* (Born, 1778) (Bivalvia, Veneridae). *Bull. Mar. Sci.* 1972. Vol. 22 (3). P. 643–670.
10. Santini G., Williams G. A., Chelazzi G. Assessment of factors affecting heart rate of the limpet *Patella vulgata* on the natural shore. *Mar. Biol.* 2000. Vol. 137 (2). P. 291–296.
11. Segal E. Acclimation in mollusks. *Amer. Zoologist.* 1961. Vol. 1 (2). P. 235–244.
12. Taylor A. C. Burrowing behaviour and anaerobiosis in the bivalve *Arctica islandica* (L.). *J. Mar. Biol. Assoc. UK.* 1976. Vol. 56. P. 95–109.
13. Taylor L. N., McGeer J. C., Wood C. M., McDonald D. G. Physiological effects of chronic copper exposure to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in hard and soft water: evaluation of chronic indicators. *Environ. Toxicol. Chem.* 2000. Vol. 19. P. 2298–2308.
14. Yamagishi H., Uesaka H., Ebara A. Phase-response analysis of stretch-mediated beat coordination in the oyster heart. II. Mutual entrainment of auricle and ventricle. *Zool. Sci.* 1995. Vol. 12. P. 405–409.

Bakhmet I. N., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)
Abessa Denis Moledo de Souza, UNESP, Campus of São Vicente (São Vicente, SP, Brazil)
Lucas Moreira Buruaem, UNESP, Campus of São Vicente (São Vicente, SP, Brazil)

CHARACTERISTIC FEATURES OF BIVALVIAS' PHYSIOLOGY INDWELLING DIFFERENT HABITATS

The analysis of cardiac activity in the oyster *Crassostrea brasiliensis* and in the soft clam *Anomalocardia brasiliensis* indwelling the surface, the upper, and the inner layer of the ground was carried out. A considerable difference in cardiac activity of mollusks was revealed: the rate of the heart beat in oyster was 28 ± 1 beats per min, while the heart activity of the soft clam was aperiodic – from total cardiac arrest up to 12 beats per min. It is suggested that the difference in physiology of the studied clams is caused by the mollusks' mode of life.

Key words: oyster, anomalocardia, cardiac activity

REFERENCES

1. Zhirkov I. A. *Zhizn' na dne. Bio-ekologiya i bio-geografiya bentosa* [Life on the bottom. Bioecology and biogeography of bentos]. Moscow, MGU Publ., 2010. 453 p.
2. Bakhmet I. N., Berger V. Ja., Khalaman V. V. The effect of salinity change on the heart rate of *Mytilus edulis* specimens from different ecological zones. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2005. Vol. 318 (2). P. 121–126.
3. Begum S., Basova L., Strahl J., Sukhotin A., Heilmayer O., Philipp E., Brey T., Abele D. A metabolic model for the ocean quahog *Arctica islandica* – effects of animal mass and age, temperature, salinity, and geography on respiration rate. *J. Shellf. Res.* 2009. Vol. 28 (3). P. 533–539.
4. Depledge M. H., Andersen B. B. A computer-aided physiological monitoring system for continuous, long-term recording of cardiac activity in selected invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.* 1990. № 96. P. 474–477.
5. Depledge M. H., Amaral-Mendes J. J., Daniel B., Halbrook R. S., Kloepper-Sams P., Moore M. N., Peakall D. B. The conceptual basis of the biomarker approach. *D. B. Peakall and L.R. Shugart (eds.) Biomarkers: Research and application in the assessment of the environmental health.* NATO ASI Series H: Cell Biology. 1992. Vol. 86. P. 15–29.
6. Lannig G., Flores J. F., Sokolova I. M. Temperature-dependent stress response in oysters, *Crassostrea virginica*: pollution reduces temperature tolerance in oysters. *Aquat Toxicol.* 2006. Vol. 79. P. 278–287.
7. Marshall D. J., McQuaid C. D. Differential physiological and behavioural responses of the intertidal mussels, *Choromytilus meridionalis* (Kr.) and *Perna perna* L., to exposure to hypoxia and air: a basis for spatial separation. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1993. Vol. 171 (2). P. 225–237.
8. Marshall D. J., McQuaid C. D. Seasonal and diel variations of in situ heart rate of the intertidal limpet *Siphonaria oculus* Kr. (Pulmonata). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1994. Vol. 179 (1). P. 1–9.
9. Narchi W. Comparative study of the functional morphology of *Anomalocardia brasiliensis* (Gmelin, 1791) and *Tivela mac-troides* (Born, 1778) (Bivalvia, Veneridae). *Bull. Mar. Sci.* 1972. Vol. 22 (3). P. 643–670.
10. Santini G., Williams G. A., Chelazzi G. Assessment of factors affecting heart rate of the limpet *Patella vulgata* on the natural shore. *Mar. Biol.* 2000. Vol. 137 (2). P. 291–296.
11. Segal E. Acclimation in mollusks. *Amer. Zoologist.* 1961. Vol. 1 (2). P. 235–244.
12. Taylor A. C. Burrowing behaviour and anaerobiosis in the bivalve *Arctica islandica* (L.). *J. Mar. Biol. Assoc. UK.* 1976. Vol. 56. P. 95–109.
13. Taylor L. N., McGeer J. C., Wood C. M., McDonald D. G. Physiological effects of chronic copper exposure to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in hard and soft water: evaluation of chronic indicators. *Environ. Toxicol. Chem.* 2000. Vol. 19. P. 2298–2308.
14. Yamagishi H., Uesaka H., Ebara A. Phase-response analysis of stretch-mediated beat coordination in the oyster heart. II. Mutual entrainment of auricle and ventricle. *Zool. Sci.* 1995. Vol. 12. P. 405–409.

ГАЛИНА СЕРГЕЕВНА БОРОДУЛИНА

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрохимии и гидрогеологии, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
bor6805@yandex.ru

ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ ВАПИРОВ

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

АНИ АРЦУНОВНА ВЕНСКОВИЧ

инженер сектора охраны природы Северного направления, Центр охраны окружающей среды Октябрьской железной дороги (Петрозаводск, Российская Федерация)
ajdanna@yandex.ru

СЕЛЕН В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ*

Методом ICP/ms с различными пределами чувствительности определено содержание селена в 370 подземных источниках Республики Карелия. Концентрация селена в подземных водах Карелии невысокая: в 75 % обследованных источников она ниже 0,5 мкг/л. Медианная концентрация селена составляет 0,3 мкг/л. Установлено, что подземные воды Карелии не превышают допустимого уровня для питьевых вод и из-за низких концентраций не могут рассматриваться как значимые источники селена для живых организмов и человека.

Ключевые слова: Карелия, селен, подземные воды, биологическая роль селена

Одной из наиболее острых экологических проблем, с которой сталкиваются практически все регионы России, является проблема водоснабжения питьевой водой. Во многих регионах, включая и Республику Карелия, водоснабжение ориентировано на поверхностные воды. На большей части территории Карелии качество используемых природных вод не соответствует нормативам питьевого водоснабжения. Это несоответствие главным образом обусловлено высоким содержанием в воде железа и гумусовых кислот. Вместе с этим в последние годы вызывает интерес и медико-экологическая проблема, связанная с нижним пределом минерализации питьевой воды. Известно, что длительное потребление маломинерализованной воды негативно сказывается на состоянии живых организмов. Во многих странах получены данные, которые свидетельствуют о связи сердечно-сосудистых заболеваний с использованием мягких вод [27], [28]. Следует подчеркнуть, что для Карелии, на большей части территории которой жители используют воду очень низкой минерализации (<50 мг/л) [14], эта проблема весьма актуальна.

Микроэлементный состав подземных вод, используемых для водоснабжения, безусловно, оказывает влияние на здоровье населения. При этом ценность питьевой воды определяется как ее качественным, так и количественным элементарным составом. Качество подземных вод Карелии достаточно изучено и наиболее полно

представлено в [4]. Среди всего многообразия элементов, определяющих качество питьевой воды, повышенный интерес вызывают эссенциальные элементы, способные даже в небольших концентрациях проявлять токсические свойства, к которым, в частности, относится и селен.

Несмотря на то что эссенциальность селена известна в течение многих десятилетий, с каждым годом интерес в области селеновой тематики только возрастает [1], [2], [6], [8], [16], [18], [19], [20], [21]. В первую очередь это связано с уникальностью механизмов действия данного элемента на живые организмы, в то время как границы между уровнем потребности и токсичности данного элемента достаточно условны. Так, согласно рекомендациям ВОЗ, среднесуточная потребность человека в селене составляет от 70 до 100 мкг. Если учесть, что при лечении некоторых вирусных инфекций потребность в селене может возрастать до 600 мкг в сутки, а токсической дозой для человека является 900 мкг, то узкий диапазон между терапевтической и токсической дозами представляется весьма опасным.

Общее содержание селена в организме взрослого человека в норме составляет от 4 до 20 мг. Поступая в организм в составе растительной и животной пищи, селен метаболизируется с образованием гидроселенид аниона (HSe^-). При последовательном ферментативном превращении образуется селеноцистеин, который способен

включаться у позвоночных в селеносодержащие белки [7].

Биологическая роль селена реализуется посредством селеносодержащих белков. В настоящее время установлено, что селен в составе селеноцистеина присутствует в порядка 30 протеинах, которые кодируются 25 соответствующими генами [22].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования химического состава подземных вод кристаллических пород отбирались пробы воды из действующих водозаборных, разведочно-эксплуатационных и наблюдательных скважин, обсаженных на глубину четвертичных отложений. Подземные воды четвертичных отложений опробованы в основном за счет родников и колодцев, а также скважин небольшой глубины (до 15 м) в районах расположения флювиогляциальных водоносных отложений. Отобранные пробы воды фиксировались спектрально чистой азотной кислотой до pH 2–3. Количественное определение селена проводилось методом ICP/ms.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кларк селена в земной коре составляет 0,1 г/т. Селен изоморфно накапливается в сульфидных рудах, в черных сланцах [10]. Среднее содержание Se в горных породах главных типов изменяется от 0,01–0,025 (песчаники, граниты) до 0,3 (сланцы) и 3 г/т (угли) [29]. Среди осадочных пород селеном обогащены даже обычные глинистые сланцы (0,3–0,6 г/т), еще больше – углеродистые и сульфидоносные сланцы [23]. Кларковые содержания селена в черных сланцах составляют 7–9 г/т, аномальными авторы [24] считают содержание >30 г/т. Селеноносные черные сланцы отличаются либо обилием сульфидов, либо присутствием фосфатов, либо тем и другим. Углеродистые осадки с аномальными содержаниями селена образуются при сочетании специфических (сероводородное заражение вод, процессы сульфидного диагенеза) и неспецифических (вулканизм, синхронный седиментации) факторов [24].

Карелия входит в состав Балтийского бассейна трещинных вод, где основной водоносный горизонт приурочен к верхней трещиноватой зоне кристаллического массива [5].

В рудных формациях Карелии собственных месторождений селен не образует, образование селеновых минералов достаточно экзотичное явление. Основными концентраторами селена являются сульфиды, в которых селен изоморфно замещает серу [12], [15].

В природных водах селен присутствует в виде селенитов (SeO_3^{2-}), селенатов (SeO_4^{2-}) и селеноорганических соединений. Медианное содержание селена в воде Мирового океана составляет 0,2 мкг/л [29]. Отметим, что данные по содер-

жанию селена в природных водах очень широко варьируют. Так, например, в долине реки Хуахин (Калифорния) концентрация селена в поверхностных водах составляет от 100 до 1400 мкг/л [3]. В грунтовых водах Индии содержание этого элемента колеблется от 45 до 341 мкг/л [26]. В районах Забайкалья средняя концентрация селена в поверхностных водах составляет 0,06 мкг/л при колебаниях от 0,04 до 0,16 мкг/л [13]. Широкий диапазон концентраций данного элемента наблюдается и в водах соседней Финляндии, где в поверхностных водах максимальное содержание достигает 0,15 мкг/л, медианная концентрация 0,07 мкг/л [29]. По данным [25], средняя концентрация селена в подземных водах кристаллических пород Финляндии составляет 0,15 мкг/л при колебаниях от менее 0,01 до 2,72 мкг/л, а в грунтовых водах концентрации селена варьируют от 0,01 до 0,59 мкг/л. Медианное содержание в подземных водах Норвегии составляет 0,29 мкг/л при диапазоне концентраций от менее 0,01 до 4,82 мкг/л [29].

Подземные воды Карелии в целом характеризуются невысокой минерализацией, преимущественно до 0,5 г/л, хотя встречаются и солоноватые воды (более 1 г/л). Такие воды приурочены к зонам замедленного водообмена или связаны с особенностями тектонического строения геологических структур. Для подземных вод выявляются региональная вертикальная и горизонтальная зональности, определяющие увеличение минерализации воды по мере уменьшения степени расчлененности рельефа.

Содержания микрокомпонентов в подземных водах региона в целом сравнительно низкие. Концентрации только нескольких элементов (Sr, Ba, Al, Zn, Mn) в определенных условиях могут достигать сотен мкг/л. Медианные концентрации остальных элементов ниже 10 мкг/л [4].

Концентрация селена в подземных водах Карелии невысокая: в 75 % обследованных источников она ниже 0,5 мкг/л. Серия проб, проанализированная с максимально высокой чувствительностью, позволила определить медианную концентрацию селена, которая равна 0,3 мкг/л. В табл. 1 представлены статистические характеристики распределения концентраций селена в природных водах Карелии. В статистических расчетах концентрации ниже предела обнаружения принимались как 1/2 предела обнаружения.

Как следует из табл. 2 и рисунка, только около 20 % всех проб подземных вод Карелии содержат селена выше 1 мкг/л. Максимальная концентрация в исследованных объектах достигает 23,8 мкг/л.

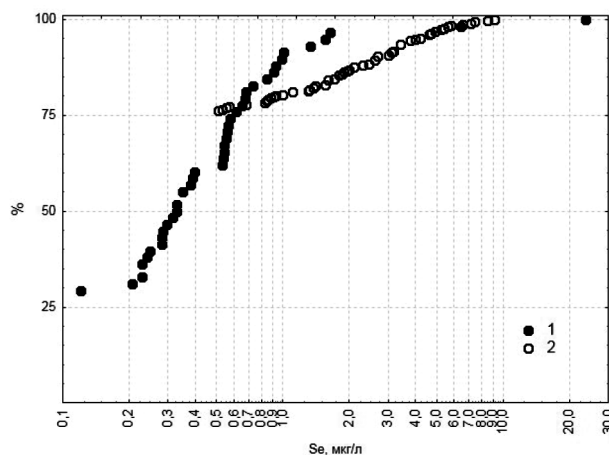
В табл. 2 представлены геохимические показатели и химический состав воды из отдельных скважин с высокими концентрациями селена. Воды с аномально высокими концентрациями

Таблица 1
Статистические характеристики
распределения концентраций селена
(мкг/л) в подземных водах Карелии

Количество проб	Количество проб (%) с концентрацией селена выше предела обнаружения	min	medi-ana	75 %	max
58	72	<0,2	0,33	0,61	23,8
312	20	<0,5	<0,5	0,54	9,1

селена вскрываются единичными скважинами, которые находятся в разных геологических структурах региона. Особенностью для этих вод является повышенная минерализация и хлоридно-натриевый (гидрокарбонатно-хлоридный) или сульфатно-кальциевый состав. Следует подчеркнуть, что при небольшом относительном содержании сульфатов в хлоридно-натриевых водах их абсолютная концентрация высока. Так, максимальная для Карелии концентрация селена (23,6 мкг/л) зафиксирована в скважине (район р. Пяльма), вскрывающей солончатые хлоридно-натриевые воды доломитов туломозерской свиты (электропроводность 6420 мкСм/см, содержание сульфатов 315 мг/л). В водах сульфатного типа установлена положительная корреляция S-Se ($r = 0,6$).

Подземные воды зоны гипергенеза Карелии формируются в различных физико-химических условиях и занимают большой диапазон значений pH (4,8–9,8) и Eh (+20–560 мВ) (табл. 2). Так как подземные воды кристаллического щита являются преимущественно водами свободного водообмена, отрицательных значений Eh не зафиксировано. В этих условиях основной миграционной формой в подземных водах является



Кумулятивные кривые накопленных частот распределения концентраций селена в подземных водах Карелии. Результаты анализов с различным пределом обнаружения селена: 1 – 0,2 мкг/л (n = 58); 2 – 0,5 мкг/л (n = 312)

гидроселенит-ион HSeO_3^- . При низких потенциальных значениях Eh растворимые формы Se трансформируются в труднорастворимую самородную форму [11].

В соответствии с нормативными документами [9], [17], ПДК селена для питьевой воды и минеральных питьевых, лечебных и лечебно-столовых вод составляют 10 и 50 мкг/л соответственно. Достаточно большой объем проанализированных проб подземных вод показывает, что концентрации селена в подземных водах Карелии не превышают допустимого уровня, за исключением единичной пробы. При таких низких содержаниях элемента подземные воды региона не могут рассматриваться как значимые источники селена для живых организмов и человека.

Таблица 2
Характеристика химического состава подземных вод с высокими концентрациями селена

№	Местоположение скважин	pH	Eh, мВ	Электропроводность, мкСм/см	Формула ионного состава	Se, мкг/л
1	Пяльма, Пудожский р-н	7,56	+196	6420	$\frac{\text{Cl}89\text{SO}_48\text{HCO}_33}{\text{Na}74\text{Ca}13\text{Mg}13}$	23,6
2	Д. Алексала, Олонецкий р-н	7,68	+132	8410	$\frac{\text{Cl}97\text{SO}_42\text{HCO}_31}{\text{Na}47\text{Ca}31\text{Mg}21}$	8,5
3	Песчаное, Пудожский р-н	7,58	+366	1816	$\frac{\text{Cl}61\text{HCO}_332\text{SO}_47}{\text{Na}69\text{Ca}20\text{Mg}20}$	6,6
4	Чална, Прионежский р-н	6,76	+406	1826	$\frac{\text{Cl}76\text{HCO}_320\text{SO}_43}{\text{Mg}53\text{Ca}35\text{Na}11}$	6,4
5	Месторождение Ср. Падма. Скв. 3657-к	8,6	+290	1430	$\frac{\text{Cl}48\text{HCO}_342\text{SO}_410}{\text{Na}87\text{Mg}7\text{Ca}4}$	2,4
6	Ср. Падма. Скв. 2852	7,81	+388	1780	$\frac{\text{Cl}60\text{HCO}_336\text{SO}_44}{\text{Na}73\text{Mg}15\text{Ca}11}$	2,0
7	Ср. Падма. Скв. 4823-Г	8,8	+400	1305	$\frac{\text{HCO}_354\text{Cl}30\text{SO}_416}{\text{Na}92\text{Ca}3\text{Mg}4}$	0,9

* Статья подготовлена в рамках Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аникина Л. В., Никитина Л. П. Селен. Экология, патология, коррекция. Чита, 2002. 400 с.
2. Барабой В. А., Шестакова Е. Н. Селен: биологическая роль и антиоксидантная активность // Укр. біохім. журн. 2004. Т. 76. № 1. С. 23–32.
3. Башкин В. Н. Биогеохимия. М.: Научный мир, 2004. 584 с.
4. Бородулина Г. С. Качество подземных вод // Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества / Ред. Н. Филатов и др. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. С. 127–139.
5. Бородулина Г. С., Игонин А. В. Подземные воды Карелии // Горный журнал. 2012. № 5. С. 32–33.
6. Вапиров В. В., Шубина М. Э., Шубин И. В., Венскович А. А. Селен: актуальные медицинские, эпидемиологические и экологические проблемы Республики Карелия // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: «Естественные и технические науки». 2012. № 6 (127). С. 40–43.
7. Галочкин В. А., Галочкина В. П. Органические и минеральные формы селена, их метаболизм, биологическая доступность и роль в организме // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 4. С. 3–15.
8. Голубкина Н. А., Соколов Я. А. Уровень обеспеченности селеном жителей северного экономического района России // Гигиена и санитария. 1997. № 3. С. 22–24.
9. ГОСТ Р 54316-2011 Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 5 с.
10. Клер В. Р., Волкова Г. А., Гурвич Е. М. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР // Геохимия элементов. М., 1987.
11. Крайнов С. Р., Швецов В. М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. М.: Недра, 1987. 237 с.
12. Кулешевич Л. В., Лавров О. Б., Дмитриева А. В. Геологическое строение и Cu-Pb-Au-Pd-Se-U рудная минерализация Кумсинской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск, 2011. С. 127–146.
13. Ломоносов И. С., Гребенщикова В. И., СклярOVA О. А. и др. Токсичные (ртуть, бериллий) и биогенные (селен, фтор) в аквальных экосистемах Байкальской природной территории // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 2. С. 193–204.
14. Озера Карелии: Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. 463 с.
15. Онежская палеопротерозойская структура / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шааров, В. В. Щипцов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 431 с.
16. Решетник Л. А., Парфенова Е. О. Биогеохимическое и клиническое значение селена для здоровья человека // Микроэлементы в медицине. 2001. Т. 2. Вып. 2. С. 2–8.
17. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 6 с.
18. Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. 216 с.
19. Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. 272 с.
20. Тутельян В. А., Мазо В. К., Ширина Л. И. Значение селена в полноценном питании человека // Гинекология. 2002. Т. 4. № 2. С. 67–71.
21. Чаженина Е. А. Распределение селена в ландшафтно-геохимических условиях Карелии: Дисс. ... канд. географ. наук. Петрозаводск, 1989. 117 с.
22. Шабалина Е. А., Моргунова Т. Б., Орлова С. В., Фадеев В. В. Селен и щитовидная железа // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2010. Т. 7. № 2. С. 7–18.
23. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Селен в черных сланцах Пай-Хоя // Геохимия. 1984. № 11. С. 1767–1774.
24. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия и рудогенез токсичных элементов-примесей в черных сланцах (кадмий, ртуть, мышьяк, сурьма, селен). Сыктывкар: Геонаука, 1990. 80 с.
25. Alfthan G., Wang D., Aro A. et al. The geochemistry of selenium in groundwaters in Finland // Sci. Total Environ. 1995. Vol. 162. № 2–3. P. 93–103.
26. Bajaj M., Eiche E., Neumann T., Winter J., Gallert C. Hazardous concentrations of selenium in soil and groundwater in North-West India // Journal of Hazardous Materials. 2011. Vol. 189. P. 640–646.
27. Cotruvo J., Bartram J., eds. Calcium and Magnesium in Drinking-water: Public health significance. Geneva, World Health Organization, 2009. 180 p.
28. Kousa A., Moltchanova E., Viik-Kajander M., Rytönen M., Tuomilehto J., Tarvainen T. & Katrinen M. Geochemistry of ground water and the incidence of acute myocardial infarction in Finland // J. Epidemiol. Comm. Health. 2004. № 58. P. 136–139.
29. Reimann C., Ayres M., Chekushin V. et al. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. NGU – GTK – CKE Special Publication. Trondheim, Geological Survey of Norway, Norway, 1998. 745 p.

Borodulina G. S., Institute of Northern Water Problems, Karelian Research Centre of RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Vapir V. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Venskovich A. A., Environment Protection Center of Otkryabskaya railway (Petrozavodsk, Russian Federation)

SELENIUM IN UNDERGROUND WATERS OF KARELIA

The presence of selenium in 370 underground sources of Karelian Republic was defined with the help of the ICP/ms method with different sensitivity limits. The concentration of selenium in groundwater of Karelia is low: in 75 % of the surveyed sources it is below 0,5 mg/l. Median selenium concentration is 0,3 mg/l. It was established that selenium concentration in the ground waters of

Karelia does not exceed the permissible level for drinking water, and because of the low concentration they should not be regarded as a significant source of selenium for living organisms and humans.

Key words: Karelia, selenium, groundwater, biological role of selenium

REFERENCES

1. Anikina L. V., Nikitina L. P. *Selen. Ekologiya, patologiya, korrektsiya* [Selenium. Ecology, pathology correction]. Chita, 2002. 400 p.
2. Baraboy V. A., Shestakova E. N. Selenium: biological role and antioxidant activity [Selen: biologicheskaya rol' i antioksidantnaya aktivnost']. *Ukr. biohim. zhurn.* 2004. Vol. 76. № 1. P. 23–32.
3. Bashkin V. N. *Biogeokhimiya* [Biogeochemistry]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2004. 584 p.
4. Brodulina G. S. Groundwater quality [Kachestvo podzemnykh vod]. *Vodnye resursy Respubliki Kareliya i puti ikh ispol'zovaniya dlya pit'evogo vodosnabzheniya. Opyt karel'sko-finskogo sotrudnichestva*. Petrozavodsk, 2006. P. 127–139.
5. Brodulina G. S., Igonin A. V. Groundwater of Karelia [Podzemnye vody Karelii]. *Gornyy zhurnal*. 2012. № 5. P. 32–33.
6. Vapiron V. V., Shubina M. E., Shubin I. V., Venskovich A. A. Selenium: actual medical, epidemiological and ecological problems of the Republic of Karelia [Selen: aktual'nye meditsinskie, epidemiologicheskie i ekologicheskie problemy Respubliki Kareliya]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2012. № 6 (127). P. 40–43.
7. Galochkin V. A., Galochkina V. P. Organic and mineral forms of selenium, their metabolism, bioavailability, and their role in the body [Organicheskie i mineral'nye formy selen, ikh metabolism, biologicheskaya dostupnost' i rol' v organizme]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2011. № 4. P. 3–15.
8. Golubkina N. A., Sokolov Ya. A. The level of selenium provision for the residents of the northern economic region of Russia [Uroven' obespechennosti selenom zhiteley severnogo ekonomicheskogo rayona Rossii]. *Gigiena i sanitariya*. 1997. № 3. P. 22–24.
9. *Gost R 54316-2011 Vody mineral'nye prirodnye pit'evye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [Mineral, natural, and drinking water. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 5 p.
10. Kler V. R., Volkova G. A., Gurvich E. M. i dr. Metallogeny and geochemistry of coal-bearing strata Soviet Union [Metallogeniya i geokhimiya ugleonosnykh i slantsesoderzhashchikh tolshch SSSR]. *Geokhimiya elementov*. Moscow, 1987.
11. Kraynov S. R., Shvets V. M. *Geokhimiya podzemnykh vod khozyaystvenno-pit'evogo naznacheniya* [Geochemistry of groundwater drinking-water destination]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 237 p.
12. Kulishevich L. V., Lavrov O. B., Dmitrieva A. V. The geological structure and Cu-Pb-Au-Pd-Se-U mineralization Kumsa structure [Geologicheskoe stroenie i Cu-Pb-Au-Pd-Se-U rudnaya mineralizatsiya Kumsinskoy struktury]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii*. 2011. P. 127–146.
13. Lomonosov I. S., Grebenshchikova V. I., Sklyarova O. A. i dr. Toxic (mercury, beryllium) and biogenic (selenium, fluoride) elements in aquatic ecosystems of the Baikal natural territory [Toksichnye (rtut', berilliy) i biogennye (selen, fluor) elementy v akval'nykh ekosistemakh Baykal'skoy prirodnoy territorii]. *Vodnye resursy*. 2011. Vol. 38. № 2. P. 193–204.
14. *Ozera Karelii: Spravochnik* [Lakes of Karelia: Directory]. Petrozavosk, Karelian Research Centre of RAS Publ., 2013. 463 p.
15. *Onezhskaya paleoproterozoyskaya struktura* [Onega Paleoproterozoic Structure]. Petrozavosk, Karelian Research Centre of RAS Publ., 2011. 431 p.
16. Reshetnik L. A., Parfenova E. O. Biogeochemical and clinical importance of selenium to human health [Biogeokhicheskoe i klinicheskoe znachenie selen dlya zdorov'ya cheloveka]. *Mikroelementy v meditsine*. 2001. Vol. 2. Issue 2. P. 2–8.
17. SanPiN 2.1.4.1074-01 *Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva. Gigienicheskie trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti sistem goryachego vodosnabzheniya* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements to ensure the safety of hot water systems]. Moscow, 2002. 6 p.
18. Skal'nyy A. V. *Khimicheskie elementy v fiziologii i ekologii cheloveka* [Chemical elements in physiology and ecology]. Moscow, 2004. 216 p.
19. Skal'nyy A. V., Rudakov I. A. *Bioelementy v meditsine* [Bioelements medicine]. Moscow, 2004. 272 p.
20. Tutel'yan V. A., Mazo V. K., Shirina L. I. The value of selenium in the full human nutrition [Znachenie selen v polnotsennom pitanii cheloveka]. *Ginekologiya*. 2002. Vol. 4. № 2. P. 67–71.
21. Chazhengina E. A. *Raspreделение selen v landshaftno-geochemicheskikh usloviyakh Karelii: Diss. ... kand. geograf. nauk* [The distribution of selenium in the landscape-geochemical conditions of Karelia: Phd. geogr. sci. diss.]. Petrozavodsk, 1989. 117 p.
22. Shabalina E. A., Morgunova T. B., Orlova S. V., Fadeev V. V. Selenium and thyroid [Selen i shchitovidnaya zheleza]. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya*. 2010. Vol. 7. № 2. P. 7–18.
23. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Selenium in black shales Pay Hoya [Selen v chernykh slantsakh Pay-Khoya]. *Geokhimiya*. 1984. № 11. P. 1767–1774.
24. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Geokhimiya i rudogenez toksichnykh elementov-primesey v chernykh slantsakh (kadmiy, rtut', mysh'yak, sur'ma, selen)* [Geochemistry and ore genesis of toxic trace elements in black shales (cadmium, mercury, arsenic, antimony, selenium)]. Syktyvkar, Geonauka Publ., 1990. 80 p.
25. Alfthan G., Wang D., Aro A. et al. The geochemistry of selenium in groundwaters in Finland // *Sci. Total Environ*. 1995. Vol. 162. № 2–3. P. 93–103.
26. Bajaj M., Eiche E., Neumann T., Winter J., Gallert C. Hazardous concentrations of selenium in soil and groundwater in North-West India // *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 189. P. 640–646.
27. Cotruvo J., Barram J., eds. *Calcium and Magnesium in Drinking-water: Public health significance*. Geneva, World Health Organization, 2009. 180 p.
28. Kousa A., Moltchanova E., Viik-Kajander M., Rytönen M., Tuomilehto J., Tarvainen T. & Katrinen M. Geochemistry of ground water and the incidence of acute myocardial infarction in Finland // *J. Epidem. Comm. Health*. 2004. № 58. P. 136–139.
29. Reimann C., Ayras M., Cherkushin V. et al. *Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region*. NGU – GTK – CKE Special Publication. Trondheim, Geological Survey of Norway, Norway, 1998. 745 p.

Поступила в редакцию 01.07.2015

УДК 547.551.2:51:552.1:564.4:362.3

СВЕТЛАНА АХМЕТШАКУРОВА ВИЗЕР

доктор химических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории химии физиологически активных соединений, Институт химических наук им. А. Б. Бектурова (Алматы, Казахстан)
s-w07@bk.ru

КАЗБЕК БЕКМАГАНБЕТОВИЧ ЕРЖАНОВ

доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией химии физиологически активных соединений, Институт химических наук им. А. Б. Бектурова (Алматы, Казахстан)
erzhanov42@mail.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

ИРИНА АЛЕКСАНДРОВНА РАТНИКОВА

доктор биологических наук, доцент, заведующий лабораторией микробных препаратов РГП на пхв, Институт микробиологии и вирусологии (Алматы, Казахстан)
iratnikova@list.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ «ЗЕЛеной» ХИМИИ В ПРОПАРГИЛИРОВАНИИ П-ФЕНИЛЕНДИАМИНА

В результате изучения пропаргилирования п-фенилендиаминa в присутствии поташа и тетра-н-бутиламмоний йодида в качестве катализатора в различных растворителях при варьировании температуры от 40 до 70 °С и продолжительности процесса от 3 до 25 часов найдены условия проведения реакции, приводящие к преимущественному образованию моно-, ди-, три- или тетрапропаргильных производных п-фенилендиаминa. С помощью колоночной хроматографии на силикагеле выделены образцы индивидуальных пропаргильных производных п-фенилендиаминa. Строение и состав аминов подтверждены данными ЯМР ^1H , ^{13}C , ИК-спектроскопии и элементного анализа. Впервые исследованы антибактериальные свойства гидрохлоридов синтезированных пропаргильных производных п-фенилендиаминa на восьми тест-культурах, включая грамотрицательные бактерии *Escherichia coli*, *Salmonella gallinarum*, *Pasteurella multocida*, *Klebsiella pneumoniae* 444; грамположительные бактерии *Mycobacterium B₃*, *Staphylococcus aureus* 9, 3316 и дрожжеподобные грибы *Candida albicans*.

Ключевые слова: ароматические диамины, п-фенилендиамин, алкилгалогениды, пропаргилирование, гидрохлориды пропаргил-п-фенилендиаминов

Среди основных задач органической химии разработка путей целенаправленного получения синтетических и природных биологически активных веществ занимает ведущее положение. Химия ацетиленовых соединений создает широкие возможности решения этой проблемы и привлекает исследователей разнообразием возможностей дизайна полифункциональных производных, перспективных в качестве полезных биологически активных веществ. Особый интерес представляют ацетиленовые амины и четвертичные аммониевые соли [1], [4]. Современность требует от химии решения синтетических проблем с применением принципов «зеленой» химии, ставшей новым способом мышления в химии [6]. Одним из основных принципов «зе-

леной» химии справедливо следует принять необходимость применения каталитических систем и процессов для повышения селективности синтеза целевых веществ, сокращения продолжительности процессов, снижения энергетических затрат.

Ранее нами было установлено [3], [7], что реакция пропаргилирования о-фенилендиаминa в бензоле в условиях органокатализа при использовании в качестве органического со-катализатора тетра-н-бутиламмоний йодида позволяет селективно и с высоким выходом получить N-пропаргил-о-фенилендиамин при двукратном повышении выхода и десятикратном сокращении продолжительности проведения реакции по сравнению с ранее известным методом [2].

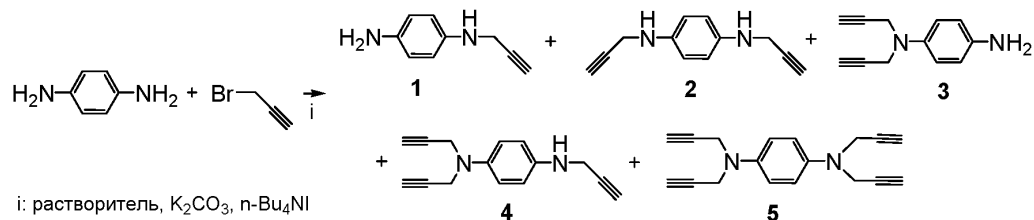


Рис. 1. Пропаргилирование п-фенилендиаминa

При разработке селективного синтеза индивидуальных пропаргильных производных п-фенилендиаминa: N-пропаргил-п-фенилендиаминa **1**, N,N'-дипропаргил-п-фенилендиаминa **2**, N,N'-дипропаргил-п-фенилендиаминa **3**, N,N,N'-трипропаргил-п-фенилендиаминa **4** и N,N,N',N'-тетрапропаргил-п-фенилендиаминa **5** реакцией пропаргилирования п-фенилендиаминa (рис. 1) мы также применили органический со-катализатор – тетра-н-бутиламмоний йодид и исследовали протекание и результат реакции пропаргили-

рования в различных растворителях, при разной температуре, соотношении реагентов и продолжительности (табл. 1). В итоге были выявлены условия селективного синтеза для каждого из пропаргилированных аминов **1–5**.

Как следует из данных табл. 1, наибольший выход монопропаргилированного амина **1** – 47,5 % – получен в смеси бензола и диметилформамида (3:1) при двукратном преобладании исходного амина и 5,5-часовом нагревании при 45–50 °C. Несколько меньший выход амина

Варьирование условий пропаргилирования п-фенилендиаминa, выход и физико-химические характеристики продуктов реакции

Таблица 1

№	Растворитель	Соотношение реагентов ФДА:БП: K ₂ CO ₃ :Bu ₄ NI	Темп., °C	Продолжительность реакции, ч	Выход продуктов про- паргилирования, %
1	Ацетонитрил	1:2:1:0,1	40–45	5,0	4 – 5,0 5 – 46,0
2	Ацетонитрил	1:2,2:2:0,2	65–70	25,0	2 – 2,0 3 – 9,6 4 – 18,1 5 – 49,4
3	ДМФА	1:2,2:2:0,2	40–45	12,0	2 – 19,0 3 – 17,2 2+3 – 12,9 4 – 37,6 5 – 0,8
6	ДМСО	1:2,2:2,2:0,2	40–45	7,0	2 – 7,0 3 – 12,0 4 – 46,0 5 – 2,0
7	Этанол	1:2,4:1,1:0,1	40–45	16,0	1 – 40 2 – в смеси 3 – 19,0 4 – в смеси 5 – 30,0
8	Этанол:ацето- нитрил (2:1)	1:4:2,2:0,1	40–45	13,0	4 – 2,0 5 – 80,0
9	Толуол	1:1:0,5:0,1	60	3,3	4 – 25,7 5 – 9,0
10	Бензол	2:1:0,6:0,1	40–45	5,0	1 – 10,5 2 – 13,7 2 + 3 – 1,7 3 – 18,7 4 – 4,8
11	Бензол:ДМФА (3:1)	2:1:0,6:0,1	45–50	5,5	1 – 47,5 2 – 11,1 2+3 – 20,8 4 – 0,8

1 – 40 % – достигается в этаноле, но при этом образуется достаточно много тетрапропаргиллированного амина **5** (30 %) и несимметрично пропаргиллированного амина **3** (19 %). Для симметрично замещенного амина **2** лучший выход – 19 % – получен в диметилформамиде при стехиометрическом соотношении реагентов и нагревании при той же температуре в течение 12 часов, при этом выделено 17,2 % несимметрично пропаргиллированного амина **3** и 12,9 % смеси аминов **2** и **3**, таким образом, общий выход симметрично и несимметрично замещенных дипропаргиламинов **2** + **3** составляет 49,1 %. Однако при этом пропаргиллирование заходит глубже и одновременно образуется 37,6 % трипропаргиллированного амина **4**. Лучший выход для несимметрично замещенного амина **3** – 19 % – достигнут в этаноле при температуре 40–45 °C за 16 часов, при этом амины **2** и **4** выделены в следовых коли-

чествах. Для амина **4** наибольший выход – 46 % – достигнут в диметилсульфоксиде при 7-часовом нагревании (40–45 °C). Для амина **5** выход 80 % достигнут в смеси этанола и ацетонитрила в отношении 2:1 при стехиометрическом соотношении реагентов и 13-часовом нагревании (40–45 °C).

Данные инфракрасных спектров и спектров ядерного магнитного резонанса продуктов реакций пропаргиллирования п-фенилендиамин приведены в табл. 2–4.

В инфракрасных спектрах синтезированных пропаргильных аминов **1–5** присутствуют полосы поглощения средней интенсивности характеристических колебаний C–H при тройной углерод-углеродной связи в области 3310 см⁻¹, слабоинтенсивные полосы колебаний тройной углерод-углеродной связи в области 2110–2120 см⁻¹, сильно интенсивные полосы характеристических

Таблица 2
Характеристика пропаргиллированных производных п-фенилендиамина **1–10**

Соед.	Т. пл. из бензола, °C	R _f [*]	Брутто-формула	Найдено, % Вычислено, %			Полосы поглощения характеристических колебаний в ИК-спектрах, см ⁻¹			
				C	H	Cl	≡C–H	C≡C	C ₆ H ₄	NH ₂ , NH
1	68–70	0,1	C ₉ H ₁₀ N ₂	<u>73,93</u> 73,94	<u>6,95</u> 6,90	–	3234	2093	3030	3553, 3486, 3409
2	127–129	0,3	C ₁₂ H ₁₂ N ₂	<u>77,89</u> 78,23	<u>6,72</u> 6,57	–	3251	2104	3030, 3080	3500, 3382,
3	45–47	0,2	C ₁₂ H ₁₂ N ₂	<u>77,85</u> 78,23	<u>6,82</u> 6,57	–	3285	2110	3040	3355, 3420
4	67–69	0,6	C ₁₅ H ₁₄ N ₂	<u>81,79</u> 81,05	<u>6,51</u> 6,35	–	3295	2110	3030, 3070	3500, 3333, 3272
5	77–78	0,7	C ₁₈ H ₁₆ N ₂	<u>84,33</u> 83,05	<u>6,06</u> 6,20	–	3292	2115	3050	–
6	190–192	0,0	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂	<u>48,95</u> 49,33	<u>5,35</u> 5,52	<u>32,08</u> 32,36	3300, 3221	2131	3030	3418
7	166–167	0,0	C ₁₂ H ₁₂ Cl ₂ N ₂	<u>57,00</u> 56,05	<u>5,40</u> 5,49	<u>26,50</u> 27,58	3288, 3239	2130	3030, 3080	3417, 3485
8	144–146	0,0	C ₁₂ H ₁₂ ClN ₂	<u>64,59</u> 65,37	<u>5,95</u> 5,94	<u>14,89</u> 16,06	3290	2130	3030	3437
9	156–158	0,0	C ₁₅ H ₁₄ ClN ₂	<u>70,84</u> 69,63	<u>5,76</u> 5,84	<u>13,74</u> 13,70	3290, 3242	2129	3070	3417
10	127–129	0,0	C ₁₈ H ₁₆ ClN ₂	<u>73,14</u> 72,84	<u>5,02</u> 5,77	<u>11,84</u> 11,94	3288, 3227	2132	3030, 3070	3416, 3485

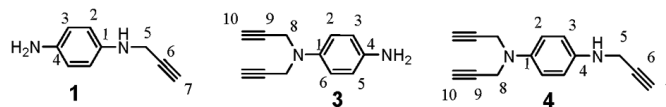
Примечание. В системе бензол:этилацетат = 4:1.

Таблица 3
Данные спектров протонного магнитного резонанса пропаргиллированных производных п-фенилендиамина **1–5**

Соед.	Данные спектров ЯМР ¹ H, δ, м.д.; (J _{сн} , Гц)			
	≡C–H	CH ₂ C≡C	C ₆ H ₄	NH ₂ , NH
1	τ2,19 (2,3), 1H	д3,85 (2,3), 2H	м 6,56–6,64, 4H	ш. с 3,39, 3H
2	τ2,20 (2,3), 2H	д3,88 (2,3), 4H	с 6,66, 4H	ш. с 3,54, 2H
3	τ2,24 (2,3), 2H	д3,98 (2,7), 4H	м 6,63–6,65, 2H; м 6,87–6,89, 2H	ш. с 3,48, 2H
4	τ2,22 (2,3), 1H; τ 2,25 (2,3), 2H	д3,90 (2,3), 2H; д 4,01 (2,3), 4H	м 6,65–6,69, 2H; м 6,93–6,97, 2H	ш. с 3,70, 1H
5	τ2,25 (2,3), 4H	д4,05 (2,3), 8H	с 6,95, 4H	–

Таблица 4

Данные спектров углеродного магнитного резонанса пропаргилированных производных *p*-фенилендиамина **1–5** в CDCl_3 , δ , м. д.



Соед.	Тип спектра	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10
1	ϑ^1	139,01	116,79	115,66	139,81	34,87	81,70	71,31	–	–	–
	p^2	143,96	121,38	112,64	145,47	33,65	80,41	71,72	–	–	–
2	ϑ^1	140,09	115,55	115,55	140,09	34,80	81,63	71,27	–	–	–
	p^2	136,00	114,30	114,30	136,00	30,50	78,00	70,90	–	–	–
3	ϑ^1	141,05	120,00	116,14	140,99	–	–	–	41,82	79,46	73,06
	p^2	143,39	117,64	116,08	138,04	–	–	–	46,27	79,31	74,08
4	ϑ^1	141,72	119,77	114,62	141,11	34,28	81,43	71,41	41,72	79,48	73,05
	p^2	138,00	115,10	114,40	137,10	30,50	78,00	70,90	43,00	78,00	70,90
5	ϑ^1	142,26	118,20	118,20	142,26	–	–	–	41,21	79,43	72,99
	p^2	139,10	115,20	115,20	139,10	–	–	–	43,00	78,00	70,90

Примечание. 1 – экспериментальный спектр; 2 – спектр, рассчитанный по программе Chem Draw Ultra.

колебаний аминных групп при 3400 и 3500 см^{-1} , слабоинтенсивные полосы от С–Н связей ароматического кольца в области 3000–3100 см^{-1} , что подтверждает введение пропаргильных групп в молекулу *p*-фенилендиамина.

В спектрах протонного магнитного резонанса аминов **1–5**, приведенных в табл. 3, присутствуют сигналы, характерные по химическим сдвигам, интенсивности и характеру расщепления для соответствующих групп протонов и подтверждающие строение предполагаемых пропаргилированных *p*-фениленаминов. Это триплеты при 2,2–2,3 м. д. с константой спин-спинового расщепления (КССР) 2,3 Гц от протона при тройной связи и дублеты около 4 м. д. с такой же КССР от метиленовой группы, расположенной между атомом азота и тройной углерод-углеродной связью. В области 6,5–7,0 м. д. расположены резонансные сигналы от протонов фениленового цикла, в области 3,4–3,7 м. д. – протонов первичных и вторичных аминогрупп. Интенсивность резонансных сигналов соответствует необходимому количеству протонов.

В спектрах углеродного магнитного резонанса, приведенных в табл. 4, наблюдаются четыре резонансных сигнала от углеродных атомов бензольного цикла C-1–C-4 для несимметрично пропаргилированных аминов **1**, **3**, **4** в области 110–140 м. д. Для симметрично пропаргилированных аминов **2** и **5** в этой области наблюдаются только два сигнала. Сигналы от метиленовой группы пропаргильных заместителей находятся в области 34–42 м. д., причем для пропаргильных заместителей, находящихся у одного азотного атома, эти сигналы сдвигаются в более слабое поле – около 41–42 м. д., а при монопропаргильном замещении – в более сильное – около 34–35 м. д. Сигналы от четвертичных углеродных атомов тройной связи проявляются при 79–81 м. д.,

а от третичных углеродных атомов тройной связи при 71–73 м. д., то есть в характерных для них областях. Причем при дипропаргильном замещении атома азота резонансные сигналы от четвертичных углеродных атомов тройной связи сдвигаются на 2 м. д. в более слабое поле, а для третичных – на 1,5 м. д. в более сильное по сравнению с соответствующими сигналами монопропаргильного заместителя.

Из образцов индивидуальных аминов **1–5**, выделенных из реакционных смесей методом колоночной хроматографии, получены гидрохлориды (ГХ) путем медленного добавления эфирного раствора хлористого водорода (около 27 %) к эфирному раствору соответствующего амина. В случае *N,N'*-дипропаргил-*p*-фенилендиамина **2** из-за его пониженной растворимости в эфире реакция была проведена в смеси эфир:этанол = 4:1. Выходы и физико-химические свойства впервые полученных гидрохлоридов **6–10** приведены в табл. 5. По результатам элементного анализа следует, что из *N*-пропаргил-*p*-фенилендиамина **1** и *N,N'*-дипропаргил-*p*-фенилендиамина **2** образуются дигидрохлориды **6** и **7**. Тогда как из *N,N*-дипропаргил-*p*-фенилендиамина **3**, *N,N,N'*-трипропаргил-*p*-фенилендиамина **4** и *N,N,N',N'*-тетрапропаргил-*p*-фенилендиамина **5** образуются моногидрохлориды **8–10** (рис. 2).

В ИК-спектрах синтезированных гидрохлоридов **6–10**, приведенных в табл. 1, присутствуют полосы поглощения средней интенсивности характеристических колебаний С–Н связи, расположенной при тройной углерод-углеродной связи в области 3290–3300 см^{-1} . Полосы характеристических колебаний тройной углерод-углеродной связи несколько смещаются по сравнению с соответствующими аминами в область 2130 см^{-1} , а их интенсивность повышается, все это подтверждает сохранение пропаргильных групп в молеку-

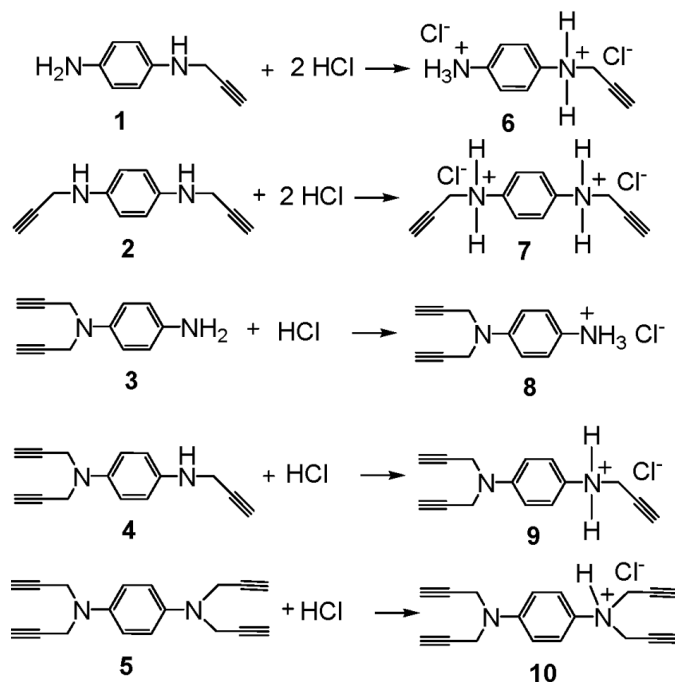


Рис. 2. Получение гидрохлоридов 6–10 пропаргилированных производных п-фенилендиамина

лах пропаргильных производных п-фенилендиамина. При этом отсутствуют полосы валентных колебаний, характерные для алленовых групп в области 1980 см^{-1} , что свидетельствует об отсутствии изомеризации тройной связи при получении гидрохлоридов. В спектрах присутствуют сильно интенсивные полосы аминных групп в области $3400\text{--}3500\text{ см}^{-1}$. В спектрах всех гидрохлоридов появляются полосы валентных колебаний NH^+ в области $2500\text{--}2800\text{ см}^{-1}$. В области $3000\text{--}3100\text{ см}^{-1}$ присутствуют слабоинтенсивные полосы от C-H связей бензольного кольца.

Антимикробную активность гидрохлоридов 6–10 определяли методом диффузии в агар [5] в интервале концентраций от 5000 до 0,5 мкг/мл в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов: грамотрицательных бактерий (представителей кишечной группы): *Escherichia coli*, *Salmonella gallinarum*, *Pasteurella multocida*, *Klebsiella pneumoniae* 444; грамположительных бактерий: *Mycobacterium B₅*, *Staphylococcus aureus* 9, 3316; дрожжеподобных грибов: *Candida albicans* (табл. 5).

Как видно из результатов, представленных в табл. 5, все исследованные вещества оказались в той или иной степени активны в отношении шести из восьми исследованных тест-культур и не проявили активность к двум тест-культурам, а именно *Escherichia coli* и *Pasteurella multocida*. Наименее активным оказался гидрохлорид 6, который подавлял рост дрожжеподобных грибов (*Candida albicans*) только в исходной концентрации (5000 мкг/мл).

По широте спектра выделяется гидрохлорид 9, который показал активность в отношении пяти тест-культур (из 8 взятых в исследование), а именно *Salmonella gallinarum*, *Klebsiella pneumoniae* 444, *Staphylococcus aureus* 9, *Candida albicans*, *Mycobacterium B₅*.

Таблица 5
Антимикробная активность гидрохлоридов 6–10 в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов

Соединение	МПК (минимальная подавляющая концентрация), мкг/мл						
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Salmonella gallinarum</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i> 444	<i>Staphylococcus aureus</i> 9	<i>Candida albicans</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> 3316	<i>Pasteurella multocida</i>
6	–	–	–	–	5000	–	–
7	–	–	–	–	1000	1000	–
8	–	–	–	–	1000	–	900
9	–	1000	1000	2000	1000	–	2000
10	–	–	–	–	–	–	900

Таким образом, в результате изучения различных условий пропаргилирования п-фенилендиамина нами найдены условия проведения реакции, приводящие к преимущественному образованию моно-, ди-, три- или тетрапропаргильных производных п-фенилендиамина, вы-

деленных в индивидуальном виде с помощью колоночной хроматографии. Состав синтезированных пропаргильных производных п-фенилендиамин подтвержден данными элементного анализа, строение – данными инфракрасной спектроскопии и спектроскопии ядерного магнитного резонанса ^1H и ^{13}C . Из хроматографически индивидуальных образцов пропаргильрованных аминов с количественными выходами получены соответствующие гидрохлориды. При этом из N-пропаргил-п-фенилендиамина **1** и N,N'-дипропаргил-п-фенилендиамина **2** образуются дигидрохлориды. Тогда как из N,N-дипропаргил-п-фенилендиамина **3**, N,N,N'-трипропаргил-п-фенилендиамина **4** и N,N,N',N'-тетрапропаргил-п-фенилендиамина **5** образуются моногидрохлориды. Определена антимикробная активность гидрохлоридов **6–10** на восьми тест-культурах, включающих грамотрицательные бактерии *Escherichia coli*, *Salmonella gallinarum*, *Pasteurella multocida*, *Klebsiella pneumoniae* 444; грамположительные бактерии *Mycobacterium B_s*, *Staphylococcus aureus* 9, 3316, дрожжеподобные грибы *Candida albicans*.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Общая методика проведения пропаргильирования п-фенилендиамина

Бромистый пропаргил по каплям добавляли к смеси п-фенилендиамина, тонко растертого поташа и йодида тетрабутиламмония в растворителе при нагревании и интенсивном перемешивании. Затем реакционную смесь выдерживали при той же температуре определенное время. После обработки реакционной смеси дистиллированной водой, экстракции бензолом и хлороформом и разделения продуктов реакции методом колоночной хроматографии на силикагеле при элюировании бензолом и смесями бензол – этилацетат (20:1, 10:1), бензол – хлороформ (от 10:1 до 1:1), хлороформом, метилацетатом выделяли в индивидуальном виде продукты моно-, ди-, три- и

тетрапропаргильирования п-фенилендиамина. Условия проведения реакций пропаргильирования, выход и физико-химические характеристики полученных продуктов приведены в табл. 1–4.

Общая методика получения гидрохлоридов пропаргильрованных производных п-фенилендиамина

К раствору 0,003–0,004 моль пропаргильного производного п-фенилендиамина в диэтиловом эфире, приготовленному с использованием минимально необходимого для растворения амина количества эфира, добавили сначала по каплям, а затем небольшими порциями 27%-й эфирный раствор хлорида водорода при комнатной температуре. Повышения температуры в процессе реакции не наблюдалось. По мере прибавления эфирного раствора хлористого водорода выпадал обильный светлый осадок. Цвет осадка варьировался для разных аминов от белого до светло-розового и светло-сиреневого. Момент окончания реакции определяли по pH раствора. Считали, что реакция завершена при pH = 1–3. Выпавший осадок отфильтровывали и сушили на фильтре Шота. Затем переносили в бюкс и досушивали при пониженном давлении над пятиокисью фосфора. Выходы, температуры плавления, результаты элементного анализа и ИК-спектры полученных гидрохлоридов приведены в табл. 2.

Общая методика определения антимикробной активности гидрохлоридов **6–10**

Антимикробную активность исследуемых веществ **6–10** определяли методом диффузии в агар [5].

ИК-спектры полученных соединений записаны на спектрометре «Nicolet 5700» в таблетках KBr (с 0,25 %) для твердых веществ или в тонком слое для жидкостей. Спектры ЯМР – на спектрометрах «Avance-III 500» (Bruker) с рабочими частотами 500 (^1H), 125 (^{13}C) и «JNM-ECA 400» (Jeol) с рабочими частотами 400 (^1H), 100 (^{13}C), внутренний стандарт ГМДС (^1H).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев В. П., Зайцев Д. О., Соболев П. С., Визер С. А., Ержанов К. Б., Ремизова Л. А. Бактерицидные и фунгицидные свойства ацетиленовых четвертичных аммониевых солей // Химический журнал Казахстана. 2012. Спец. вып. (№ 38). С. 46–48.
- Балова И. А., Ремизова Л. А., Пашенко В. Ю. Синтез ацетиленовых и диацетиленовых диаминов в реакции алкинирования о-фенилендиамина // Журнал органической химии. 1999. Т. 35. № 10. С. 1508–1511.
- Визер С. А., Ержанов К. Б., Андреев В. П. Новые условия пропаргильирования бензол-1,2-диамина // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 2 (139). С. 7–10.
- Гудзь О. В. Итоги и перспективы клинического применения дезинфекционных средств из группы четвертичных аммониевых соединений // Провизор. 1998. Вып. 12 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.provisor.com.ua/archive/1998/N12/klin_dez.php
- Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. М.: Высш. шк., 1994. 512 с.
- Кустов Л. М., Белецкая И. П. «Green Chemistry» – новое мышление // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). 2004. Т. 48. № 6. С. 3–12.
- Vizer S. A., Yerzhanov K. B., Andreev V. P., Tchugunova N. I. Synthesis of N¹-(prop-2-ynyl)benzene-1,2-diamine by organic catalysis // Химический журнал Казахстана. 2014. № 1 (45). С. 99–105.

Vizer S. A., Institute of Chemical Sciences named after A. B. Bekturov (Almaty, Kazakhstan)
Erzhanov K. B., Institute of Chemical Sciences named after A. B. Bekturov (Almaty, Kazakhstan)
Andreev V. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Ratnikova I. A., Institute of Microbiology and Virusology (Almaty, Kazakhstan)

“GREEN CHEMISTRY” PRINCIPLES’ APPLICATION IN PROPARGYLATION OF P-PHENYLENEDIAMINE

A study of p-phenylenediamine propargylation in the presence of potash and tetra-n-butyl ammonium iodide as a catalyst under varying temperature (from 40 to 70 °C) and time (from 3 to 25 h) helped to define the reaction’s conditions that lead to the preferential formation of mono-, di-, tri- or tetra-propargyl derivatives of p-phenylenediamine. Column chromatography on silica by benzene, chloroform, methyl acetate, and ethyl acetate elution assisted in obtaining the samples of all individual amines. IR, NMR ¹H, ¹³C spectra confirms their structures. The antibacterial properties of synthesized hydrochlorides of p-phenylenediamine propargylated derivatives were investigated for the first time on eight test-cultures including *Escherichia coli*, *Salmonella gallinarum*, *Pasteurella multocida*, *Klebsiella pneumoniae* 444, *Mycobacterium B_s*, *Staphylococcus aureus* 9, 3316 and *Candida albicans*.

Key words: aromatic diamines, p-phenylenediamine, propargylation, hydrochlorides of propargyl-p-phenylenediamines, antibacterial activity

REFERENCES

1. Andreev V. P., Zaytsev D. O., Sobolev D. S., Vizer S. A., Erzhanov K. B., Remizova L. A. Bactericidal and fungicidal properties of acetylenic quaternary ammonium salts [Bakteritsidnye i fungitsidnye svoystva atsetilenovykh chetvertichnykh ammonievnykh soley]. *Khimicheskiy zhurnal Kazakhstana*. 2012. Spets. vyp. (№ 38). P. 46–48.
2. Balova I. A., Remizova L. A., Pashchenko V. Yu. Synthesis of acetylenic and diacetylenic diamines in alkynylation reaction of o-phenylenediamine [Sintez atsetilenovykh i diatsetilenovykh diaminov v reaktsii alkinilirovaniya o-fenilendiamina]. *Zhurnal organicheskoy khimii*. 1999. Vol. 35. № 10. P. 1508–1511.
3. Vizer S. A., Erzhanov K. B., Andreev V. P. Novel terms of benzene-1,2-diamine propargylation [Novye usloviya propargilirovaniya benzol-1,2-diamina]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. “Estestvennye i tekhnicheskie nauki”* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2014. № 2 (139). P. 7–10.
4. Gud z’ O. V. Sums and perspectives of clinic use of disinfectant means from quaternaire ammonium compounds [Itogi i perspektivy klinicheskogo primeneniya dezinfektsionnykh sredstv iz gruppy chetvertichnykh ammonievnykh soedineniy]. *Provizor*. 1998. Issue 12. Available at: http://www.provisor.com.ua/archive/1998/N12/clin_dez.php
5. Egorov N. S. *Osnovy ucheniya ob antibiotikakh* [Basis of doctrine about antibiotics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1994. 512 p.
6. Kustov L. M., Beletskaya I. P. “Green Chemistry” – New Approach [“Green Chemistry” – novoe myshlenie]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal (Zhurnal Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva)*. 2004. Vol. 48. № 6. P. 3–12.
7. Vizer S. A., Yerzhanov K. B., Andreev V. P., Tchugunova N. I. Synthesis of N¹-(prop-2-ynyl)benzene-1,2-diamine by organic catalysis. *Khimicheskiy zhurnal Kazakhstana*. 2014. № 1 (45). C. 99–105.

Поступила в редакцию 28.05.2015

УДК 577.152.3:594.124:595.371:612.017.2

РИММА УЛЬЯНОВНА ВЫСОЦКАЯ

доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
rimma@bio.krc.karelia.ru

ГАЛИНА АНДРЕЕВНА ШКЛЯРЕВИЧ

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

ЕЛИЗАВЕТА АНДРЕЕВНА ВДОВИЧЕНКО

аспирант, младший научный сотрудник, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
elizaveta.vdovichenko@gmail.com

ВАЛЕНТИНА ЮРЬЕВНА ДИВНЕНКО

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

ЛИЗОСОМАЛЬНЫЕ ФЕРМЕНТЫ В ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ АДАПТАЦИЯХ МИДИЙ И АМФИПОД КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ*

Огромное социально-экономическое значение Белого моря и усиливающаяся антропогенная нагрузка на его бассейн определяют актуальность проведения исследований по оценке экологического состояния моря и устойчивости беломорской биоты к загрязнению. В качестве тест-объектов биомониторинга использовали типичных представителей макрозообентоса Беломорского побережья: двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis* L. и ракообразных амфипод *Gammaridae* sp., собранных из разных по степени и типу загрязнения участков литорали. В мягких тканях мидий и бокоплавов определяли активность ферментов лизосом, играющих важную роль в защитных и приспособительных реакциях организма. Ответная реакция на разные виды поллютантов у мидий выражается снижением активности кислой фосфатазы и нуклеаз и повышением уровня β -глюкозидазы у моллюсков из мест, загрязненных нефтепродуктами. У рачков присутствие в среде токсикантов вызывает адаптивное повышение активности большинства ферментов. Особенно заметно повышалась активность РНКазы под влиянием бытовых сточных вод, тяжелых металлов и радионуклидов. При этом активность ДНКазы оставалась стабильной. Результаты исследований показывают, что отличающиеся по биологическим особенностям беспозвоночные используют разную стратегию биохимической адаптации.

Ключевые слова: лизосомальные ферменты, мидии *Mytilus edulis*, амфиподы *Gammaridae* sp., антропогенное загрязнение, литораль Белого моря

ВВЕДЕНИЕ

С давних времен Белое море играет значительную роль в социально-экономическом развитии Северо-Западного региона России. Многообразные виды хозяйственной деятельности связаны здесь с освоением рыбных и других биоресурсов, добычей полезных ископаемых на территории водосбора, развитием сети транспортных путей, организацией в морских водах марикультуры беспозвоночных, рыб и водорослей. Интенсивное освоение природных богатств края привело к заметным изменениям в экологическом состоянии как речных экосистем бассейна, так и самого Белого моря [3]. Особенно значительные трансформации под влиянием физических и химических антропогенных факторов претерпевают прибрежные морские экосистемы зали-

вов, принимающие с речными стоками большие объемы пресной воды, тепла и разной природы загрязнений. Спектр поллютантов, поступающих в Белое море, довольно широк. Это бытовые сточные воды, нефтепродукты, отходы деревообрабатывающей промышленности, тяжелые металлы и другие ксенобиотики [8].

Северные водные экосистемы, имеющие низкий потенциал самоочищения и восстановления, весьма чувствительны к антропогенному воздействию такого рода. Учитывая ближайшие перспективы по возрождению традиционных отраслей экономики и разработке новых газоконденсатных и других месторождений, можно прогнозировать, что влияние антропогенного фактора в регионе будет усиливаться [3], [7], [12]. Все сказанное определяет актуальность всесто-

ронного изучения изменений, происходящих в экосистемах заливов, эстуариев и Белого моря в целом. Несмотря на богатую историю научных изысканий, проводимых на Белом море специалистами разного профиля, накопленных знаний пока недостаточно для составления его полной характеристики и формирования представлений о закономерных изменениях в функционировании экосистемы моря во времени и с увеличением нагрузки [1]. В частности, слабо изучены физиолого-биохимические аспекты формирования механизмов устойчивости беломорской биоты к загрязнениям. Известно, что лизосомам принадлежит важная роль в ответной реакции организма на воздействие внешних факторов, в том числе на химическое загрязнение среды [6], [15]. Удобными и часто используемыми объектами для изучения адаптаций водных организмов к изменяющимся факторам среды являются представители макрозообентоса [11], [14] благодаря их эврибионтности и привязанности к месту обитания [17].

Учитывая сказанное выше, целью работы является изучение влияния различных типов загрязнения на активность лизосомальных ферментов двух доминантных групп беспозвоночных Белого моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования выполнены на научном оборудовании центра коллективного пользования ИБ КарНЦ РАН.

Объектами исследования были типичные представители макрозообентоса Беломорского побережья: двусторчатые моллюски *Mytilus edulis* L. и ракообразные амфиподы *Gammaridae* sp., собранные на литорали в разных зонах Кандалакшского залива, отличающихся по степени и типу загрязнения [11]. В качестве контроля служили мидии и бокоплавы, обитающие на литорали Турьего мыса и Порьей губы, расположенных на территории Кандалакшского природного заповедника на значительном удалении от населенных пунктов и промышленных объектов. Акватория о. Ряшков также может быть принята за «условно чистый» район, однако проходящий вблизи него фарватер является причиной нефтяного загрязнения среднего уровня. Остальные места сбора проб располагаются в кутовой части Кандалакшского залива, подверженной сильному воздействию нефтепродуктов, хозяйственно-бытовых и промышленных стоков (табл. 1).

Для биохимических исследований использовали сборные пробы, гидробионтов брали целиком без разделения на органы, что является общепризнанной практикой при проведении мониторинга состояния водной среды [13]. Это удобно, если сравниваемые объекты значительно различаются по размерно-весовым характеристикам. В сборных пробах нивелируются

Таблица 1
Характеристика мест сбора проб мидий *M. edulis* и амфипод *Gammaridae* sp. в Кандалакшском заливе Белого моря

№	Точка сбора	Близость к источникам загрязнения	Преобладающий тип загрязнения
1	мыс Турий	150 км от г. Кандалакша 30 км от пос. Умба	наиболее чистый район
2	губа Порья	90 км от г. Кандалакша 30 км от пос. Умба	чистый район
3	о. Ряшков	5 км от пос. Умба	бытовые сточные воды, агрохимия, нефтепродукты
4	пос. Лувеньга	побережье пос. Лувеньга	бытовые сточные воды
5	о. Большой Березовый	5 км от г. Кандалакша	бытовые сточные воды, повышенное содержание Са и Р из апатитового концентрата из порта г. Кандалакша
6	о. Еловый	5 км от г. Кандалакша	
7	о. Большой Лупчостров	1 км от г. Кандалакша	
8	о. Большая Половинница	2 км от г. Кандалакша	радионуклиды Sr ⁹⁰ и Y ⁹⁰ , точечное загрязнение
9	о. Малый	1,4 км от г. Кандалакша	
10	о. Олений (губа Корвя)	2,5 км от нефтебазы станции Белое море	нефтепродукты
11	«механический завод»	в городской черте г. Кандалакша	неорганические кислоты, нефтепродукты, отходы лесопиления

индивидуальные различия, число определений каждого биохимического показателя составляло не менее трех. Из мягких тканей моллюсков и амфипод готовили 10 %-ные гомогенаты на 0,25 М растворе сахарозы (рН 7,4), содержащем 0,001 М ЭДТА и 0,1 % тритона X-100. Гомогенаты центрифугировали в течение 30 минут на центрифуге с охлаждением при 12 000 g. В надосадочной жидкости определяли активность лизосомальных ферментов: кислой фосфатазы, β-глюкозидазы, ДНКазы, РНКазы и содержание белка. Активность кислой фосфатазы (КФ 3.1.3.2) выявляли по методу Баррета и Хита, используя в качестве субстрата β-глицерофосфат натрия. Активность фермента выражали в микрограммах неорганического фосфора (P_{in}), образующегося в результате реакции, количество которого рассчитывали после реакции с хромогенным реактивом. Активность β-глюкозидазы (КФ 3.2.1.21) определяли по расщеплению пара-нитрофенил-β-D-глюкопиранозида. Активность кислых нуклеаз: ДНКазы (КФ 3.1.4.6) и РНКазы (КФ 3.1.4.23) выявляли методами А. А. Покровского и А. И. Арчакова и А. П. Левицкого с соавторами соответственно. Содержание белка в пробах определяли методом Лоури. Все использованные методы модифицировали применительно к объектам исследования [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обитатели приливо-отливной зоны моря, живущие в условиях частой смены соленостного, температурного, кислородного режимов и других условий существования, выработали ряд приспособлений, позволяющих им адаптироваться к воздействию неблагоприятных факторов, включая антропогенное загрязнение [10]. На клеточном уровне ответная реакция происходит с участием лизосом. Наиболее ярко защитная роль лизосомальных гидролаз проявляется при воздействии различных токсикантов [16]. Любой ксенобиотик, попадающий в организм, а также поврежденные в результате его воздействия структуры и компоненты захватываются лизосомами, подвергаются трансформации с участием лизосомальных гидролаз и экзоцитируются из клетки [6].

Определение активности кислых гидролаз в тканях мидий и амфипод из «чистой» зоны выявило их более высокий уровень у бокоплавов (табл. 2). Это можно связать с образом жизни гидробионтов. В отличие от прикрепленных или медленно перемещающихся мидий, амфиподы являются самыми подвижными из бентосных животных [5], что находит отражение в их более активном метаболизме. Высокий уровень лизосомальных гидролаз свидетельствует о значительном адаптивном потенциале литоральных рачков.

Таблица 2

Активность лизосомальных гидролаз и содержание белка в тканях мидий и амфипод из «чистого» района Беломорского побережья (мыс Турий)

Показатели, единицы измерения	Мидии <i>Mytilus edulis</i>	Амфиподы <i>Gammaridae sp.</i>
Кислая фосфатаза, мкг Р / 1 г сырой массы•мин	0,775 ± 0,054	1,05 ± 0,08
В-глюкозидаза, мкМ пара-нитрофенола / 1 г сырой массы•мин	0,026 ± 0,002	0,051 ± 0,008
ДНКазы, ΔD ₂₆₀ / 1 г сырой массы•мин	0,566 ± 0,024	0,789 ± 0,027
РНКаза, ΔD ₂₆₀ / 1 г сырой массы•мин	0,163 ± 0,004	0,053 ± 0,003
Белок, мг / 1 г сырой массы	22,5 ± 1,8	49,0 ± 0,7

Проведенными исследованиями установлены различия в реакции изученных видов на воздействие одних и тех же факторов. У мидий из мест локального загрязнения акватории наблюдалось снижение активности кислой фосфатазы и ДНКазы (рис. 1, 2). Фермент углеводного обмена – лизосомальная β-глюкозидаза несколько активизировалась у моллюсков, собранных на литорали о. Ряшков, где имеет место загрязнение нефтепродуктами. В большинстве исследованных вариантов у мидий из загрязненных участков прибрежной акватории активность ферментов была снижена. Особенно значительно угнеталась активность фосфатазы и ДНКазы под воздействием сточных вод у пос. Лувеньга и

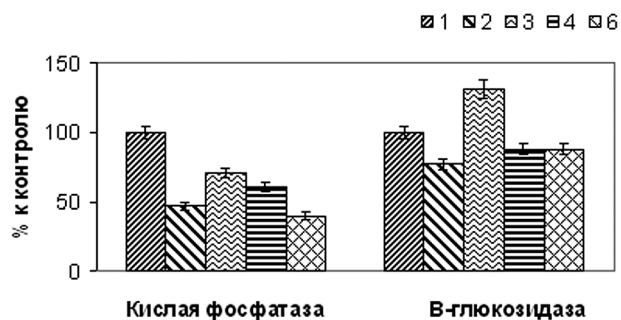


Рис. 1. Активность кислой фосфатазы и β-глюкозидазы в тканях мидий из разных участков литорали Белого моря (% к контролю, мыс Турий).

Обозначения, здесь и на рис. 2–4: 1 – мыс Турий, 2 – губа Порья, 3 – о. Ряшков, 4 – пос. Лувеньга, 6 – о. Еловый

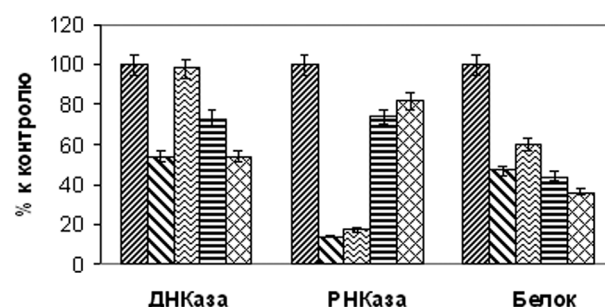


Рис. 2. Активность нуклеаз и содержание белка в тканях мидий из разных участков литорали Белого моря (% к контролю, мыс Турий)

в районе о. Еловый. Здесь основные загрязняющие вещества представлены стоками морского порта с повышенным содержанием кальция и фосфора из состава перевозимого апатитового концентрата. В целом в данных исследованиях подтвержден сделанный нами ранее вывод о снижении интенсивности метаболизма мидиями под влиянием неблагоприятных факторов среды [2]. В пользу этого предположения свидетельствует более низкий уровень содержания белка в тканях моллюсков по сравнению с соответствующими показателями у мидий, обитающих на литорали мыса Турий (см. рис. 2). Известно, что основной адаптивной стратегией литоральных мидий является переживание неблагоприятного воздействия и перевод метаболизма на сниженный уровень с экономией энергетических и пластических ресурсов. При данной стратегии невыраженные биохимические изменения компенсируются адаптивным поведением, направленным на избегание или минимизацию влияния неблагоприятного фактора [10]. У двустворчатых моллюсков такой поведенческой реакцией является изоляция от окружающей среды путем рефлекторного смыкания створок раковины [9]. В этих условиях обеспечение энергией происходит за счет анаэробного расщепления углеводов, что подтверждают полученные нами данные о повышении активности ферментов углеводного обмена, в частности

β -глюкозидазы у мидий в регионе, загрязненном нефтепродуктами.

Обращают на себя внимание существенные различия изученных биохимических показателей у моллюсков из двух «чистых» участков Беломорского побережья. У обитателей губы Порья активность всех лизосомальных ферментов и содержание белка были намного ниже по сравнению с моллюсками, собранными в районе Турьего мыса. Возможной причиной наблюдаемых различий являются уникальные гидродинамические процессы данного участка Белого моря. В районе Порьей губы происходит интенсивное поднятие глубинных холодных вод, что в сочетании со сложным рельефом дна обуславливает своеобразный температурно-солевой режим этой части моря и отражается на видовом составе, размерно-возрастной и половой структуре популяций массовых видов и адаптивных реакциях гидробионтов [5]. Основным действующим фактором в этом районе, видимо, является низкая температура. И в этом случае, как и при воздействии различных загрязняющих веществ, основной реакцией является снижение метаболизма. Заметим, что у амфипод из Порьей губы, как и у мидий, активность нуклеаз была пониженной, а все другие показатели близки к контролю (мыс Турий).

Реакция ферментных систем амфипод на загрязнение водной среды была иной. В ответ на присутствие в среде токсикантов у гаммарусов в ряде случаев отмечено довольно значительное адаптивное повышение активности β -глюкозидазы и кислой фосфатазы (рис. 3). Активность ДНКазы была довольно стабильной, а РНКазы в несколько раз повышалась под влиянием бытовых сточных вод (пос. Лувеньга), загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами (о. Б. Половинница), комплексного загрязнения промышленных предприятий («механический завод», г. Кандалакша) (рис. 4). Содержание белка в тканях гаммарусов из загрязняемых акваторий было выше, чем в чистых зонах. Анализ результатов позволяет заключить, что адаптивные реакции данной группы беспозвоночных к токсическим воздействиям отличаются более высокой специфичностью по сравнению с двусторчатыми моллюсками. Повышение рибонуклеазной активности при относительной стабильности активности ДНКазы свидетельствует об интенсификации биосинтетических процессов, вызванных влиянием определенных поллютантов. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что приспособительные реакции амфипод на присутствие в среде обитания чужеродных соединений происходят на более глубоком уровне, чем у двусторчатых моллюсков. Эти реакции включают синтез различных макромолекул, в том числе новых для клеток, которые отсутствуют у обитателей чистой зоны. Это могут быть ферменты,

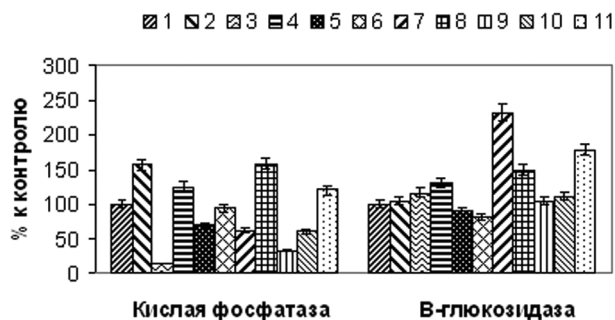


Рис. 3. Активность кислой фосфатазы и β -глюкозидазы в тканях амфипод *Gammaridae* sp. из разных участков литорали Белого моря (% к контролю).

Здесь и на рис. 4: 5 – о. Большой березовый, 7 – о. Лупчостров, 8 – луда Малая Половинница, 9 – о. Малый, 10 – о. Олений, 11 – «механический завод» (г. Кандалакша)



Рис. 4. Активность нуклеаз в тканях амфипод *Gammaridae* sp. из разных участков литорали Белого моря (% к контролю)

участвующие в метаболизме или детоксикации ксенобиотиков, регуляторные, структурные и каталитические белки, более приспособленные к функционированию в измененной микросреде [10]. Роль лизосомальных нуклеаз, и в особенности РНКазы, при этом состоит в реутилизации выполнивших свою функцию или измененных рибонуклеиновых кислот (мРНК, рРНК) с целью обеспечения процессов биосинтеза белков, необходимых в данный момент организму. О значительных перестройках белкового обмена у *Gammaridae* под влиянием антропогенной нагрузки свидетельствуют также данные Л. А. Бондаревой [4], показавшей значительное изменение активности протеолитических ферментов лизосом в условиях интоксикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что беспозвоночные литоральной зоны Белого моря проявляют высокую устойчивость к антропогенному загрязнению морской среды. Жизнь в условиях часто и резко меняющихся условий сформировала у представителей изученных групп макрозообентоса способность адаптироваться к воздействию неблагоприятных факторов, в том числе к различным поллютантам. На клеточном уровне важными участниками приспособительных реакций являются ферментные системы лизосом.

В местах локального загрязнения прибрежной акватории адаптивные перестройки метаболизма выражаются изменением активности ферментов. При этом отличающиеся по биологическим характеристикам беспозвоночные используют разную стратегию биохимической адаптации. У малоподвижных мидий, способных изолироваться от вредного воздействия, присутствие в среде токсикантов вызывает снижение метаболизма и переход на анаэробные пути обеспечения энергией, в том числе с участием лизосомальных гликозидаз. Адаптивные реакции амфипод к воздействию поллютантов отличаются более выраженной специфичностью по сравнению с

моллюсками. У гаммарусов в ответ на разные типы загрязнения наблюдается разнонаправленное изменение активности ферментов. Особенно заметно повышается активность РНКазы под влиянием сточных бытовых вод, загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами. Стабильный уровень ДНКазы при этом свидетельствует о слабой вовлеченности генома в процессы адаптации. На основании полученных результатов можно заключить, что высокий адаптивный потенциал беломорских беспозвоночных позволяет им успешно выживать при современном уровне загрязнения моря поллютантами.

* Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания по теме № 0221-2014-0003 и гранта Президента РФ для поддержки исследований, проводимых ведущими научными школами (проект НШ-1410.2014.4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А. Ф., Алексеев А. П., Бергер В. Я., Кулачкова В. Г. Итоги и направления исследований Белого моря в 2002–2004 гг. // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря. Петрозаводск: Издательский дом ПИН, 2005. С. 14–26.
2. Амелина В. С., Высоцкая Р. У., Ломаева Т. А. Две стратегии адаптаций беспозвоночных к различным типам антропогенного загрязнения // Вестник молодых ученых. Приложение к серии Науки о жизни. Физиология и медицина: Материалы конф. молодых исследователей. 2005. С. 7.
3. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Н. Н. Филатов, А. Ю. Тержевик, ред. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 335 с.
4. Бондарева Л. А. Влияние некоторых факторов среды на внутриклеточный протеолиз гидробионтов: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 23 с.
5. Брызгин В. Ф., Шкляревич Г. А., Разновская С. В. Crustacea мелководий Порьеи губы Канда拉克шского залива Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря: Материалы IX Междунар. конф. Петрозаводск: Издательский дом ПИН, 2005. С. 67–71.
6. Высоцкая Р. У., Немова Н. Н. Лизосомы и лизосомальные ферменты рыб. М.: Наука, 2008. 284 с.
7. Корякин А. С., Юрченко С. В. Сбросы загрязняющих веществ Беломорской нефтебазой в Канда拉克шский залив в 2004–2006 гг. // Экологические исследования беломорских организмов: Материалы 2-й междунар. конф. СПб., 2007. С. 59–60.
8. Наумов А. Д., Оленев А. В. Зоологические экскурсии на Белом море: Пособие для летней практики по зоологии беспозвоночных / Под ред. А. А. Стрелкова. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. 176 с.
9. Хлебков В. В. Акклимация водных животных. Л.: Наука, 1981. 136 с.
10. Хочачка П., Сомеро Д. Ж. Биохимическая адаптация. М.: Мир, 1988. 568 с.
11. Шкляревич Г. А., Кершинский А. О. Состояние литоральных поселений *Mytilus edulis* L. в Канда拉克шском заливе Белого моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря: Материалы IX Междунар. конф. Петрозаводск: Издательский дом ПИН, 2005. С. 333–337.
12. Bryazgin V., Klimov A. Evaluation of the present state of the Pomor and Karelian coast and the Onega Bay of the White Sea // Projects of the Investment Programs developed for the Republic of Karelia by NEFCO/AMAP. Information Paper. Petrozavodsk, 1995. P. 6.
13. Fung C. N., Lam J. C. W., Zheng G. J. et al. Mussel-based monitoring of trace metal and organic contaminants along the east coast of China using *Perna viridis* and *Mytilus edulis* // Environ. Poll. 2004. Vol. 127. P. 203–216.
14. Goldberg E. D. The mussel watch concept // Environ. Monit. Assess. 1986. Vol. 7. P. 101–125.
15. Marigómez I., Baybay-Villacorta L. Pollutant-specific and general lysosomal responses in digestive cells of mussels exposed to model organic chemicals // Aquat. Toxicol. 2003. Vol. 64. P. 235–257.
16. Moore M. N., Viarengo A., Donkin P., Hawkins A. J. S. Autophagic and lysosomal reactions to stress in the hepatopancreas of blue mussels // Aquat. Toxicol. 2007. Vol. 84. Issue 1. P. 80–91.
17. Riba I., Del Valls T. A., Forja J. M., Gomez-Parra A. The influence of pH and salinity on the toxicity of heavy metals in sediment to the estuarine clam *Ruditapes philipinarum* // Environ. Toxicol. Chem. 2004. Vol. 23 (5). P. 1100–1107.

Vysotskaya R. U., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

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

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

Divnenko V. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

LYSOSOMAL ENZYMES IN ECOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ADAPTATIONS OF MUSSELS AND AMPHIPODS INHABITING KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA

The great social and economic importance of the White Sea and the increasing anthropogenic impact on its basin speak of the significant role of the research aimed at the assessment of the sea's ecological status and at the stability of the White Sea biota to

pollution. Bivalves *Mytilus edulis* L. and crustacean amphipods *Gammaridae* sp. collected from the littoral zones differed in the level and type of contamination. They were used as test objects in biomonitoring as they represent the White Sea coast macrozoobenthos. The activity of lysosomal enzymes playing an important role in protective and adaptive reactions of the organism was determined in the soft tissues of mussels and amphipods. The mussels' response to different types of pollutants was shown in the decreasing activity of acid phosphatase and nucleases. However, the activity of β -glucosidase increased in mollusks collected from the sites contaminated by petroleum products. The presence of toxicants induced an increase in adaptation in the majority of enzymes in crustaceans. Particularly, the increase of RNase activity was noticed under the influence of domestic sewage, heavy metals, and radionuclides. At the same time, the DNase activity was stable. The results show that invertebrates variable in biological features use different strategies of biochemical adaptation.

Key words: lysosomal enzymes, mussels *Mytilus edulis*, amphipods *Gammaridae* sp., anthropogenic contamination, littoral zone of the White Sea

REFERENCES

1. Alimov A. F., Alekseev A. P., Berger V. Ya., Kulachkova V. G. Results and trends of the White Sea investigations in 2002–2004 [Itogi i napravleniya issledovaniy Belogo morya v 2002–2004 gg.]. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany resursov Belogo morya. Materialy IX mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. IXth Int. Conf. "The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea"]. Petrozavodsk, 2005. P. 14–26.
2. Amelina V. S., Vysotskaya R. U., Lomaeva T. A. The two strategies of invertebrates' adaptations to different types of anthropogenic pollution [Dve strategii adaptatsiy bespozvonochnykh k razlichnym tipam antropogennogo zagryazneniya]. *Vestnik molodykh uchenykh. Prilozhenie k serii Nauki o zhizni. Fiziologiya i meditsina: Materialy konferentsii molodykh uchenykh* [Journal of Young Scientists. Life sciences. Physiology and medicine]. 2005. P. 7.
3. *Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov* [The White Sea and its watershed under the influence of climate and anthropogenic factors] / N. N. Filatov, A. Yu. Terzhevnik, ed. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS Publ., 2007. 335 p.
4. Bondareva L. A. *Vliyaniye nekotorykh faktorov sredy na vnutrikletochnyy proteoliz gidrobiontov: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [The influence of some environmental factors on intracellular proteolysis of hydrobionts. Author's abst. PhD biol. sci. diss.]. Petrozavodsk, KRC RAS Publ., 2004. 23 p.
5. Bryazgin V. F., Shklyarevich G. A., Raznovskaya S. V. Crustacea from shallow water of Por'ya inlet, Kandalaksha Bay of the White Sea [Crustacea melkovodiy Por'ey guby Kandalakshskogo zaliva Belogo moray]. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany resursov Belogo morya: Materialy IX Mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. IXth Int. Conf. "The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea"]. Petrozavodsk, 2005. P. 67–71.
6. Vysotskaya R. U., Nemova N. N. *Lizosomy i lizosomal'nye fermenty ryb* [Fish lysosomes and lysosomal enzymes]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 284 p.
7. Koryakin A. S., Yurchenko S. V. The pollutant discharges from the White Sea oil distribution centre into Kandalaksha bay in 2004–2006 [Sbrosy zagryaznyayushchikh veshchestv Belomorskoy neftebazoy v Kandalakshskiy zaliv v 2004–2006 gg.]. *Ekologicheskie issledovaniya belomorskikh organizmov: Materialy 2-y mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. 2nd Int. Conf. Ecological studies of the White Sea organisms]. St. Petersburg, 2007. P. 59–60.
8. Naumov A. D., Olenov A. V. *Zoologicheskie ekskursii na Belom more: Posobie dlya letney praktiki po zoologii bespozvonochnykh* [Zoological excursions on the White Sea: handbook for summer practice on invertebrate zoology] / A. A. Strelov, ed. Leningrad, Leningrad University Press, 1981. 176 p.
9. Khebovich V. V. *Akklimatsiya vodnykh zhivotnykh* [The acclimation of aquatic animals]. Leningrad, Nauka Publ., 1981. 136 p.
10. Khochachka P., Somero Dzh. *Biokhimeskaya adaptatsiya* [Biochemical adaptation]. Moscow, Mir Publ., 1988. 568 p.
11. Shklyarevich G. A., Kershinskiy A. O. Condition of littoral settlements of *Mytilus edulis* L. in Kandalaksha bay of the White Sea [Sostoyaniye litoral'nykh poseleniy *Mytilus edulis* L. v Kandalakshskom zalive Belogo moray]. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany resursov Belogo morya: Materialy IX mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. IXth Int. Conf. "The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea"]. Petrozavodsk, 2005. P. 333–337.
12. Bryazgin V., Klimov A. Evaluation of the present state of the Pomor and Karelian coast and the Onega Bay of the White Sea // Projects of the Investment Programs developed for the Republic of Karelia by NEFCO/AMAP. Information Paper. Petrozavodsk, 1995. P. 6.
13. Fung C. N., Lam J. C. W., Zheng G. J. et al. Mussel-based monitoring of trace metal and organic contaminants along the east coast of China using *Perna viridis* and *Mytilus edulis* // *Environ. Poll.* 2004. Vol. 127. P. 203–216.
14. Goldberg E. D. The mussel watch concept // *Environ. Monit. Assess.* 1986. Vol. 7. P. 101–125.
15. Marigómez I., Baybay-Villacorta L. Pollutant-specific and general lysosomal responses in digestive cells of mussels exposed to model organic chemicals // *Aquat. Toxicol.* 2003. Vol. 64. P. 235–257.
16. Moore M. N., Viarengo A., Donkin P., Hawkins A. J. S. Autophagic and lysosomal reactions to stress in the hepatopancreas of blue mussels // *Aquat. Toxicol.* 2007. Vol. 84. Issue 1. P. 80–91.
17. Riba I., Del Valls T. A., Forja J. M., Gomez-Parra A. The influence of pH and salinity on the toxicity of heavy metals in sediment to the estuarine clam *Ruditapes philipinarum* // *Environ. Toxicol. Chem.* 2004. Vol. 23 (5). P. 1100–1107.

Поступила в редакцию 19.08.2015

ЛЮДМИЛА АЛЕКСАНДРОВНА СЕРГИЕНКО

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

ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ МОСЕЕВ

старший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр «Викинг» (Архангельск, Российская Федерация), соискатель кафедры ботаники и физиологии растений эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
vikingm@arh.ru

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФЛОРОЦЕНОТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОБЕРЕЖИЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ*

В береговой зоне побережий морей Российской Арктики формируются местообитания (соленые местообитания на илистых береговых осушках и в устьевых зонах рек), заселенные специфическими сообществами растений, обладающие уникальной структурно-функциональной целостностью. Изучение флороценотического комплекса побережий Российской Арктики проводилось с 1974 по 2014 год на побережьях морей Российской Арктики. Исследовано более 30 парциальных локальных флор на примере ряда модельных объектов – побережий Белого, Баренцева, Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей. Для полноты картины использованы гербарные материалы и литературные данные по составу и структуре растительного покрова Карского моря и моря Лаптевых. Анализ парциальных приморских флор проводился по общепринятым флористическим методикам. Сравнительный анализ таксономического и типологического разнообразия приморских флор побережий Российской Арктики показал, что флора приморских экотопов включает 113 видов сосудистых растений (12 % от всей флоры Арктики), относящихся к 63 родам и 31 семейству, что свидетельствует о важной роли приморских экосистем в таксономическом разнообразии региона. Установлено, что в десятке ведущих семейств таксономического спектра флороценотического комплекса побережий Российской Арктики первые три места занимают семейства *Poaceae*, *Cyperaceae* и *Asteraceae*, на более высокую позицию поднимаются семейства *Chenopodiaceae*, *Plantaginaceae*, *Apiaceae* по сравнению с таксономическим спектром семейств локальных арктических флор. В географической структуре флороценотического комплекса преобладают арктические циркумполярные виды, являющиеся эварктическими автохтонными элементами приморской флоры. Анализ распределения экологических и географических групп видов флороценотического комплекса по типам местообитаний показал доминирующую роль в сложении растительного покрова первичных маршей арктических и циркумполярных эвгалофитов, приморских кос и баров – гипоарктических амфиокеанических мезогалофитов.

Ключевые слова: Российская Арктика, побережья, приморская флора, таксономический анализ, эколого-географическая характеристика

ВВЕДЕНИЕ

Побережья Российской Арктики представляют один из наиболее уязвимых типов экосистем в условиях изменения климата и активного промышленного освоения Севера. Страны – участницы Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) приняли решение об управлении экосистемами в качестве одной из стратегий адаптации к последствиям изменения климата для смягчения антропогенного воздействия. Управление экосистемами требует базовых знаний о структурных и функциональных их характеристиках. Таксономическая структура и эко-

лого-географическая характеристика, определенная видовым разнообразием и соотношением таксонов видового, надвидового и родового рангов, является наиважнейшей характеристикой любых биологических сообществ и имеет огромное значение, в частности при анализе флористического комплекса побережий Российской Арктики.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужил флороценотический комплекс [9], объединяющий виды, близкие по эколого-ценотическому поведению и динамике его изменчивости в данных природных районах. Галофитный флороценотический комп-

лекс побережий Российской Арктики выделен на основе эколого-ценотического оптимума приморских видов, различающихся по широте экологической амплитуды [6].

Согласно базовым понятиям сравнительной флористики, флора представляет собой полную территориальную совокупность местных популяций видов растений. Приморский флороценотический комплекс на топологическом (внутриландшафтном) уровне является парциальной (частичной) флорой, под которой, следуя Б. А. Юрцеву и Р. В. Камелину [9], понимается полная территориальная совокупность видов растений любого экологически и флористически своеобразного подразделения ландшафта. Виды, входящие в его состав, служат объектом таксономического и эколого-географического анализа. Изучение флороценотического комплекса побережий Российской Арктики проводилось с 1974 по 2014 год на побережьях морей Российской Арктики с использованием комплекса маршрутных флористических, геоботанических и почвоведческих методов и стационарно [6], [7].

Исследование было выполнено на примере ряда модельных объектов – побережий Белого, Баренцева, Восточно-Сибирского, Чукотского и Берингова морей. Для полноты картины использованы гербарные материалы (фонды гербариев LE, PZV, O, L) и обобщены литературные данные по составу и структуре растительного покрова побережий Карского моря и моря Лаптевых.

Латинские названия растений даются по сводке С. К. Черепанова (1995) [8] с учетом новейших публикаций [3], [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таксономический анализ

Галофитный флороценотический комплекс морских побережий (ГФЦКП) Российской Арктики включает 113 таксонов в ранге видов и подвидов, относящихся к 63 родам и 31 семейству. Заносных видов во флороценотическом комплексе не отмечено. Видовое богатство галофитного флороценотического комплекса, несмотря на специфические условия обитания видов, непостоянно и варьирует довольно значительно – от 71 вида на побережье Берингова моря до 35 видов на побережье моря Лаптевых (табл. 1). То же, но в меньшей степени, наблюдается и в разнообразии родов и семейств.

В состав галофитного флороценотического комплекса побережий Российской Арктики в число ведущих семейств входят *Poaceae* (26 видов, 23,4 % от общего числа видов), *Cyperaceae* (17 видов, 15,3 %), *Asteraceae* (8 видов, 7,2 %), *Chenopodiaceae* (7 видов, 6,3 %), *Caryophyllaceae* (6 видов, 5,4 %); 2 семейства имеют в своем составе по 4 (7,2 %) вида (по 3,6 %) – *Brassicaceae*, *Apiaceae*; 4 семейства (8,1 %) – по 3 вида (по 2,7 %): *Juncaceae*, *Primulaceae*, *Rosaceae*, *Plantaginaceae*; 6 се-

мейств (10,8 %) – по 2 вида (по 1,8 %): *Ruppiaceae*, *Zosteraceae*, *Cornaceae*, *Empetraceae*, *Fabaceae*, *Juncaginaceae*; 15 (13,5 %) семейств – всего по 1 (по 0,9 % для каждого семейства) представителю в приморской флоре: *Salicaceae*, *Liliaceae*, *Iridaceae*, *Polemoniaceae*, *Boraginaceae*, *Limoniaceae*, *Hippuridaceae*, *Parnassiaceae*, *Saxifragaceae*, *Polygonaceae*, *Ranunculaceae*, *Crassulaceae*, *Potamogetonaceae*, *Equisetaceae*. Представители нескольких семейств (*Ruppiaceae*, *Zosteraceae*, *Juncaginaceae*, *Iridaceae*, *Salicaceae*, *Polygonaceae*, *Chenopodiaceae*, *Fabaceae*, *Polemoniaceae*, *Plantaginaceae*) отсутствуют на побережьях центральных морей бассейна Северного Ледовитого океана (см. табл. 1).

Наиболее богато представлены в сводном списке ГФЦКП Российской Арктики только роды *Carex* 12 видов (10 %) и *Puccinellia* 11 видов (7 %), немногочисленны *Atriplex* 4 видов (3,5 %), по 3 вида имеют роды *Eleocharis*, *Juncus*, *Cochlearia*, *Potentilla*, *Plantago* (все по 2,7 %). Малочисленные (по 1,7 %) роды *Ruppia*, *Zostera*, *Triglochin*, *Agrostis*, *Deschampsia*, *Dupontia*, *Leymus*, *Salicornia*, *Cerastium*, *Saxifraga*, *Rhodiola*, *Senecio*, *Empetrum*, *Primula* вместе с одновидовыми родами (40 родов) объединяют более двух третей видового состава галофитного флороценотического комплекса. Ведущие семейства имеют в этом комплексе и более высокое родовое разнообразие. Однако большее число семейств имеют низкое родовое разнообразие – всего по одному представителю в приморской флоре. Можно предположить, что причина кроется в истории формирования приморской флоры в течение плейстоцена и раннего голоцена, когда происходили многочисленные трансгрессии и регрессии моря [2], [5], и в узкой специализации многих видов этого комплекса.

Сходство ГФЦКП разных морей между собой и их же с общим списком галофитного комплекса морских побережий подсчитано на основе коэффициента Жаккара. Наиболее близки по объему, видовому составу и таксономической структуре галофитные приморские комплексы Карского моря и моря Лаптевых. В их составе общими оказались 33 вида, коэффициент сходства по Жаккару (K_j) составляет 0,98. Такой же коэффициент сходства выявлен и для приморских комплексов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Коэффициенты сходства общего списка видов ГФЦКП Российской Арктики с таковыми отдельных морей выявляют более высокое сходство приморских комплексов Белого (0,87), Чукотского (0,75) и Берингова (0,96) морей, невысокое – Баренцева моря (0,65); еще менее сходны приморские комплексы Карского моря – 0,52, моря Лаптевых – 0,52, Восточно-Сибирского моря – 0,54. Попарное сравнение сходства ГФЦКП всех арктических морей по общему числу видов по коэффициенту Жаккара показывает, что наиболее сходны комплексы Кар-

Таблица 1

Видовое и родовое разнообразие семейств в галофитных флороценологических комплексах побережий 7 морей Российской Арктики

	Белое море		Баренцево море		Карское море		Море Лаптевых		Восточно-Сибирское море		Чукотское море		Берингово море	
	роды	виды	роды	виды	роды	виды	роды	виды	роды	виды	роды	виды	роды	виды
Сем. <i>Equisetaceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Potamogetonaceae</i>	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Ruppiceae</i>	1	2												
Сем. <i>Zosteraceae</i>	1	2	1	1									1	2
Сем. <i>Juncaginaceae</i>	1	2	1	1									1	1
Сем. <i>Poaceae</i>	5	10	8	14	7	10	7	10	7	11	9	14	10	17
Сем. <i>Cyperaceae</i>	4	12	2	8	2	7	2	6	2	6	2	8	2	11
Сем. <i>Juncaceae</i>	1	2											1	1
Сем. <i>Liliaceae s. l.</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Iridaceae</i>													1	1
Сем. <i>Salicaceae</i>											1	1	1	1
Сем. <i>Polygonaceae</i>													1	1
Сем. <i>Chenopodiaceae</i>	2	5									2	2	1	1
Сем. <i>Caryophyllaceae</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	5
Сем. <i>Ranunculaceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Сем. <i>Brassicaceae</i>	2	3	2	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	3
Сем. <i>Crassulaceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
Сем. <i>Saxifragaceae</i>											1	1	1	2
Сем. <i>Parnassiaceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Rosaceae</i>	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	3	1	3
Сем. <i>Fabaceae</i>	1	1									2	2	2	2
Сем. <i>Empetraceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Hippuridaceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Apiaceae</i>	3	3	2	2							1	1	2	2
Сем. <i>Cornaceae</i>	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1
Сем. <i>Primulaceae</i>	2	2					1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Limoniaceae</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Polemoniaceae</i>											1	1	1	1
Сем. <i>Boraginaceae</i>	1	1							1	1	1	1	1	1
Сем. <i>Plantaginaceae</i>	1	3	1	1										
Сем. <i>Asteraceae</i>	6	6	4	4	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5
Всего	45	68	34	47	26	36	26	35	28	38	41	56	47	71

ского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей (коэффициент сходства ГФЦКП Карского моря с таковым моря Лаптевых $K_j = 0,83$; то же моря Лаптевых с таковым Восточно-Сибирского моря $K_j = 0,87$). Значительно ниже сходство комплексов восточных морей (Восточно-Сибирского и Чукотского морей – $K_j = 0,69$, а Чукотского и Берингова морей – $K_j = 0,72$). Еще менее сходны комплексы Белого и Баренцева ($K_j = 0,61$) и Баренцева и Карского ($K_j = 0,64$) морей.

Эколого-географический анализ

Виды, входящие в состав ГФЦКП, различаются по широте экологической амплитуды и объединены в следующие экологические группы [11], [12] (табл. 2):

I. Среди облигатных галофитов (эвгалофитов): а) гемизвритоппные виды, имеющие эколого-ценологический оптимум на эвгалогенных экотопах,

но довольно обычны в мезогалогенных экотопах первичных и вторичных маршей; б¹) гемистенотопные виды, предпочитающие эвгалогенные, реже мезогалогенные экотопы, с илистыми отложениями на первичных и вторичных маршах; б²) гемистенотопные виды, предпочитающие эв-, реже мезогалогенные экотопы песчано- и песчано-илистых отложений на вторичных маршах; в¹) стенотопные виды, растущие на илистом аллювии эвгалогенных экотопов в устьях рек; в²) стенотопные виды, растущие на песчано- и песчано-илистых отложениях по берегам бессточных засоленных озер на вторичных маршах.

II. Среди факультативных галофитов (мезогалофитов): а) гемизвритоппные виды, предпочитающие задернованный илистый аллювий мезогалогенных экотопов на первичных, реже вторичных маршах; б) гемистенотопные виды,

Таблица 2

Экологические группы приморских видов парциальных приморских флор побережий морей Российской Арктики

Гемизвритопные виды (илистый аллювий)	Гемистенотопные виды			Стенотопные виды	
<i>Zostera angustifolia</i> , <i>Z. marina</i> , <i>Ruppia brachypus</i> , <i>R. maritima</i> , <i>Puccinellia phryganodes</i> subsp. <i>phryganodes</i> , <i>Carex subspathacea</i> , <i>C. glareosa</i> , <i>Calamagrostis deschampsoides</i> , <i>Stellaria humifusa</i> , <i>Potentilla egedei</i> subsp. <i>egedei</i> , <i>Cochlearia arctica</i> , <i>C. groenlandica</i> , <i>Plantago maritima</i> , <i>P. subpolaris</i> , <i>P. schrenkii</i>	илистые первичные марши	песчано-илистые первичные марши		илистый аллювий в устьях рек	песчано-илистые отложения берегов соленых озер
	<i>Triglochin maritima</i> , <i>Triglochin palustre</i> , <i>Puccinellia vaginata</i> , <i>P. coarctata</i> , <i>Carex mackenzii</i> , <i>C. ursina</i> , <i>Atriplex nudicaulis</i> , <i>A. praecox</i> , <i>Glaux maritima</i> , <i>Tripolium pannonicum</i> subsp. <i>tripolium</i>	<i>Agrostis straminea</i> , <i>A. stolonifera</i> , <i>Puccinellia tenella</i> subsp. <i>tenella</i> , <i>P. tenella</i> subsp. <i>alaskana</i> , <i>P. angustata</i> , <i>P. capillaris</i> , <i>P. maritima</i> , <i>P. pulvinata</i> , <i>Bolboschoenus maritimus</i> , <i>Carex recta</i> , <i>C. salina</i> , <i>Eleocharis parvula</i> , <i>Arctanthemum arcticum</i> subsp. <i>polare</i>		<i>Blysmus rufus</i> , <i>Salicornia europaea</i> , <i>Suaeda arctica</i> , <i>Hippuris tetraphylla</i> , <i>Ranunculus tricenatus</i>	<i>Atriplex glabriuscula</i> , <i>Atriplex gmelinii</i> , <i>Salicornia pojarkovae</i> , <i>Spergularia marina</i>
Гемизвритопные виды (илистый аллювий)	Гемистенотопные виды			Стенотопные виды с некоторой нивальностью	
<i>Dupontia fischeri</i> , <i>D. psilosantha</i> , <i>Carex maritima</i> , <i>C. lyngbyei</i> , <i>C. gmelinii</i> , <i>C. minuscula</i> , <i>C. paleacea</i> , <i>Juncus atrofuscus</i> , <i>Juncus balticus</i> , <i>Juncus haenkei</i> , <i>Eleocharis uniglumis</i> , <i>E. acicularis</i> , <i>Primula borealis</i> , <i>P. finmarchia</i> , <i>Saussurea nuda</i> , <i>Cakile maritima</i> subsp. <i>islandica</i> , <i>Ligusticum scoticum</i> , <i>L. hultenii</i> , <i>Chamaepericlymenum suecicum</i>	на песчаных дюнах	на гребне берегового вала	на обратных скатах песчано-галечного берегового вала	<i>Pucciniphisia czukczorum</i> , <i>Arctodupontia scleroclada</i> , <i>Saxifraga arctolitoralis</i> , <i>S. bracteata</i>	
	<i>Honckenya peploides</i> , <i>Mertensia maritima</i> , <i>Senecio pseudoarnica</i> , <i>Sonchus humilis</i>	<i>Arctopoa emenens</i> , <i>Leymus arenarius</i> , <i>Leymus vilosissimus</i> , <i>Rumex beringensis</i> , <i>Potentilla fragiformis</i> , <i>P. pulchella</i> , <i>Cerastium beeringianum</i> , <i>C. ficherianum</i> , <i>Armeria scabra</i> , <i>Taraxacum ceratophorum</i> , <i>T. lateritium</i>	<i>Arctodupontia scleroclada</i> , <i>Angelica gmelinii</i> , <i>Puccinellia beringensis</i> , <i>Deshampsia komarovi</i> , <i>Deshampsia sukachewii</i> , <i>Salix ovalifolia</i> , <i>Parnassia palustris</i> , <i>Archangelica litoralis</i> , <i>Cenolophium denudatum</i> , <i>Lathyrus japonicus</i> subsp. <i>pubescens</i>		
Гемизвритопные виды (илистый аллювий)			Гемизвритопные виды (песчано-галечный аллювий)		
<i>Potamogeton subretusus</i> , <i>Arctophila fulva</i> , <i>Senecio congestus</i> , <i>Tripleurospermum hookeri</i>			<i>Carex rariflora</i> , <i>Puccinellia wrightii</i> , <i>Equisetum arvense</i> subsp. <i>boreale</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Phragmites australis</i> , <i>Allium schoenoprasum</i> , <i>Iris setosa</i> , <i>Rhodiola integrifolia</i> , <i>R. rosea</i> , <i>Astragalus polaris</i> , <i>Empetrum hermaphroditum</i> , <i>E. subholarcticum</i> , <i>Polemonium boreale</i> , <i>Crepis nigrescens</i>		

растущие на песчаном и песчано-галечном аллювии мезо-, реже мигалоогенных экотопов приморских баров и кос (псаммофитон); б¹) на песчаных пляжах; б²) на гребнях берегового вала; б³) на обратных скатах берегового вала; в) стенотопные виды, строго приуроченные к мезогалоогенным экотопам, уклоняющимся в сторону некоторой нивальности местообитаний.

III. Толерантные виды (миогалофиты) включают группу гемизвритопных видов, обычных на мио- и мезогалоогенных экотопах, но часто встречающихся вне зоны засоления – на дренированных склонах в пойме рек, у подножия коренного берега, на речном аллювии, на рудеральных местообитаниях.

Более подробное изучение распределения эколого-ценотических групп приморских видов по типам экотопов арктических морей Российской Арктики показало: на побережьях Белого и Баренцева морей со значительным преимуществом доминируют облигатные приморские виды на илистых осушках, что происходит за счет присутствия в составе приморских флор видов

с европейским и евразийским ареалами (виды родов *Puccinellia*, *Carex*, *Plantago*, *Atriplex*). Распределение факультативных приморских видов по типам экотопов побережий морей Российской Арктики показывает их незначительное участие в сложении ГФЦКП центральных морей бассейна Северного Ледовитого океана (Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море) ввиду определенного геоморфологического строения их берегов и их доминирование в сложении ГФЦК на побережьях Белого моря, Баренцева моря, Восточно-Сибирского моря, Чукотского и Берингова морей. Толерантные приморские виды преобладают на песчаных и песчано-галечных валах и в экотонных зонах на побережьях Чукотского и Берингова морей, и их количество в сложении ГФЦКП Белого, Баренцева, Карского морей, моря Лаптевых и Восточно-Сибирского примерно одинаково и варьирует от 10 (Белое море) до 13 (Баренцево море), что можно объяснить большим разнообразием приморских экотопов на побережьях этих морей.

Географический анализ

Географический анализ ГФЦКП морей Российской Арктики проведен на основе разработанной в Лаборатории растительности Крайнего Севера БИН РАН системы географических элементов [4], [7], [10] для анализа северных флор. Сравнение соотношения широтных географических элементов показывает, что в общем списке ГФЦКП преобладают виды арктической и бореальной фракций. В арктической фракции ГФЦКП всех морей преобладают виды с циркумполярным ареалом, являющиеся автохтонными элементами приморской флоры, – *Carex subspathacea*, *Puccinellia phryganodes*, *Stellaria humifusa*, *Cochlearia arctica*, *Hippuris tetraphylla*.

Число видов гипоарктической фракции в составе приморских флор варьирует от 16 (Белое море) – 10 видов (Берингово море) до 4 видов (Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море). Арктобореальная и бореальная фракции представлены в основном факультативными приморскими видами – 1–2 вида на побережьях Карского, моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, 7–10 видов – на побережьях Баренцева и Берингова морей, и значительно богаче – 23 вида – на побережье Белого моря.

Сравнение соотношений долготных географических элементов показывает, что в ГФЦКП 7 морей Российской Арктики преобладают виды с циркумполярным типом распространения. Среди циркумполярных видов господствуют арктические виды, в группе видов с азиатским типом распространения преобладают бореальные и гипоарктические. Существенную роль играют и амфиокеанические виды, доля которых несколько выше в приморских флорах на побережье Белого моря, чем на побережьях остальных арктических морей. Если рассматривать соотношения долготных элементов в 3 группах видов, имеющих разную экологическую амплитуду в приморских комплексах, то дифференциация выражена более значительно. Среди облигатных галофитов на побережьях арктических морей

преобладают виды с циркумполярными и европейскими ареалами. Виды *Puccinellia maritima*, *P. pulvinata*, *Bolboschoenus maritimus* отмечены только на побережье Белого моря. Среди факультативных галофитов доля европейских и амфиокеанических видов наибольшая. Среди толерантных галофитов преобладают виды с евразийским типом ареала и виды с циркумполярным распространением. В ведущих семействах – *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Caryophyllaceae* – практически одинаково число циркумполярных видов, сем. *Chenopodiaceae* богато представлено видами только европейской фракции. Семейства с небольшим числом видов (1, 2, 3, 4) – *Rosaceae*, *Primulaceae*, *Plantaginaceae* – лишены видов с амфиокеаническими ареалами.

На основании географического анализа видов ГФЦКП можно предположить, что в формировании галофитного флороценоотического комплекса основную роль играли древние зоарктические виды (шельфовые элементы) и их более поздние атлантические и берингийские дериваты [1], [4]. Кроме того, эта гипотеза находит свое подтверждение в результатах изучения распределения географо-флористических групп по типам местообитаний. Изучение распределения экологических и географических групп по типам местообитаний показало доминирующую роль в сложении растительного покрова первичных маршей арктических и циркумполярных эвгалофитов, а приморских кос и баров – гипоарктических американских и амфиокеанических мезогалофитов.

В результате проведенного таксономического и эколого-географического анализа можно констатировать значительное сходство приморских парциальных флор побережий всех арктических морей. Наибольшее сходство отмечается в таксономической структуре ведущих семейств, которая остается практически одинаковой. Большие расхождения имеются в широтной географической структуре, где доля бореальных видов в приморской флоре побережья Белого моря почти в два раза (в 1,8) превышает таковую на побережьях всех арктических морей.

* Исследование проведено в рамках выполнения Государственного задания Минобрнауки России (проект № 6.724.2014/К).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камелин Р. В. Филоценогенез (проблемы и опыт изучения) // Актуальные проблемы сравнительного изучения флор. СПб.: Наука, 1994. С. 116–132.
2. Каплин П. А., Селиванов А. О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1999. 298 с.
3. Конспект флоры Восточной Европы / Ботан. ин-т им. В. Л. Комарова РАН; Под ред. Н. Н. Цвелева. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2012. Т. 1. 629 с.
4. Матвеева Н. В. Зональность в растительном покрове Арктики. СПб.: БИН РАН, 1998. 219 с.
5. Павлидис Ю. А., Ионин А. С., Щербаков Ф. А. и др. Арктический шельф. М.: ГЕОС, 1998. 198 с.
6. Толмачев А. И. Автохтонное ядро арктической флоры и ее связи с высокогорными флорами северной и центральной Азии // Проблемы ботаники. Вып. 6. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 55–65.
7. Толмачев А. И. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. Новосибирск: Наука, 1986. 197 с.
8. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.
9. Юрцев Б. А., Камелин Р. В. Основные понятия и термины флористики. Пермь, 1991. 80 с.

10. Юрцев Б. А., Королева Т. М., Петровский В. В., Полозова Т. Г., Жукова П. Г., Катенин А. Е. Конспект флоры Чукотской тундры. СПб.: БВМ, 2010. 628 с.
11. Chapman V. I. Salt marshes and salt deserts of the world. New-York, 1960. 392 p.
12. Chapman V. I. Coastal vegetation. MacMillan. M. I. 1964. 245 p.

Sergienko L. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Moseev D. S., Research Center "Viking" (Arkhangelsk, Russian Federation), Petrozavodsk State University
(Petrozavodsk, Russian Federation)

TAXONOMIC STRUCTURE AND ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF FLOROCOENOTIC COMPLEX OF THE RUSSIAN ARCTIC COAST

In the coastal zone of the Russian Arctic seas the saline habitats are formed on the muddy coastal flats, in the estuaries and bay areas of the rivers with specific communities of plants. These communities of plants are characterized by unique structural and functional integrity. From 1974 to 2014, on the coasts of seven Russian Arctic seas a study of the florocoenotic complex was conducted. On the example of some model objects (the coasts of the White, Barents, East Siberian, Chukchi and Bering seas) more than 30 partial coastal floras were investigated. Herbarium materials and literature data on the composition and structure of the Kara vegetation and the Laptev seas were used. The analysis of partial coastal floras was performed by the use of standard floristic methods. The flora of studied coastal ecotypes includes 113 species of vascular plants (12 % of the total flora of the Russian Arctic), belonging to 63 genera and 31 families, which confirms the utmost significance of the role played by the coastal ecosystems in taxonomic diversity of the Arctic region. In the top ten leading families in the taxonomic spectrum of the florocoenotic complex of the coasts of the Russian Arctic seas, in comparison with the taxonomic spectrum of leading families of the local Arctic floras, the first three places are occupied by the family of *Poaceae*, *Cyperaceae* and *Asteraceae*. Higher position are taken by the families of *Chenopodiaceae*, *Plantaginaceae*, *Apiaceae*. The circumpolar arctic species that represent the euarctic autochthonous elements of the coastal flora dominate in the geographical structure of the florocoenotic coastal arctic complex. The dominant role in the plant composition of low salt marshes of the arctic and circumpolar euhalophytes is taken by the hypoarctic amphioceanic mezoahalophytes.

Key words: Russian Arctic, coast, coastal flora, taxonomic analysis, ecological-geographical characteristics

REFERENCES

1. Kamelin R. V. The phylocoenogenesis (problems and research experience) [Filotsenogenez (problemy i opyt izucheniya)]. *Aktual'nye problemy sravnitel'nogo izucheniya flory* [Actual problems of comparative study of floras]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1994. P. 116–132.
2. Kaplan P. A., Selivanov A. O. *Izmeneniya urovnya morey Rossii i razvitiye beregov: proshloe, nastoyashchee, budushchee* [Changes in the level of the seas of Russia and development of the coasts: past, present, future]. Moscow, GEOS Publ., 1999. 298 p.
3. *Konspekt flory Vostochnoy Evropy* [Synopsis of the Eastern Europe flora] / Botanical Institute named after V. L. Komarov RAS; Edited by N. N. Tsvelev. Moscow; St. Petersburg, 2012. Vol. 1. 629 p.
4. Matveeva N. V. *Zonal'nost' v rastitel'nom pokrove Arktiki* [The zonation of the plant vegetation cover of the Arctic]. St. Petersburg, Botanical Institute RAS Publ., 1998. 219 p.
5. Pavlidis Yu. A., Ionin A. S., Shcherbakov F. A. i dr. *Arkticheskiy shel'f* [Arctic shelf]. Moscow, GEOS Publ., 1998. 198 p.
6. Tolmachev A. I. Autochthonous core of the Arctic flora and its relation to the high-altitude floors of the Northern and Central Asia [Avtokhtonnoe yadro arkticheskoy flory i ee svyazi s vysokogornymi florami severnoy i tsentral'noy Azii]. *Problemy botaniki*. Issue 6. Moscow; Leningrad, RAS USSR Publ., 1962. P. 55–65.
7. Tolmachev A. I. *Metody sravnitel'noy floristiki i problemy florigeneza* [Methods of comparative Floristics and problems of floristic genesis]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 197 p.
8. Cherepanov S. K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and adjacent States (within the former USSR)]. St. Petersburg, Mir i sem'ya Publ., 1995. 992 p.
9. Yurtsev B. A., Kamelin R. V. *Osnovnye ponyatiya i terminy floristiki* [Basic concepts and terms of floristry]. Perm, 1991. 80 p.
10. Yurtsev B. A., Koroleva T. M., Petrovskiy V. V., Polozova T. G., Zhukova P. G., Katenin A. E. *Konspekt flory Chukotskoy tundry* [Synopsis of the Chukchi tundra flora]. St. Petersburg, VVM Publ., 2010. 628 p.
11. Chapman V. I. Salt marshes and salt deserts of the world. New-York, 1960. 392 p.
12. Chapman V. I. Coastal vegetation. MacMillan. M. I. 1964. 245 p.

Поступила в редакцию 31.07.2015

ТАТЬЯНА ЮРЬЕВНА ХОХЛОВА

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

ТАТЬЯНА ЛЕОНИДОВНА ЛУНИНА

аспирант кафедры зоологии и экологии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
t.lunina2010@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ГНЕЗДОВОЙ БИОЛОГИИ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ *ACTITIS HYPOLEUCOS* L. В ВОСТОЧНОМ ПРИЛАДОЖЬЕ

Представлены результаты мониторинга местного населения перевозчика *Actitis hypoleucos* L. в Восточном Приладожье в 1990–2007 годах. Индивидуально маркировано 140 взрослых (45 % из них возвращались в течение 1–7 лет) и 432 птенца (141 выводок). Численность гнездящихся птиц колебалась по годам от 2,6 до 6,3 пар/км береговой линии. Период начала кладок ($n = 269$) 7.05–23.06, вылупления птенцов ($n = 250$) 2.06–12.07. Насиживают оба партнера. Самцы исчезали до 10 июля даже от гнезд с яйцами. Самки оставались с выводками до их распада, поздняя встреча – 30.07.2001. Птенцы покидали родителей по одному в 17–24 дня и объединялись в небольшие группы с непостоянным составом. Ширина их перемещений увеличивалась. В конце июля – начале августа контролируемое побережье покидали даже птенцы из поздних гнезд (последняя встреча – 4.08.2001).

Ключевые слова: перевозчик *Actitis hypoleucos*, гнездовая биология, территориальное поведение, индивидуальное мечение

Перевозчик *Actitis hypoleucos* L. – дальний мигрант, который заслуживает особого внимания как массовый вид, отвечающий всем критериям отнесения птиц к потенциальным переносчикам возбудителей инфекций [3]. Птицы из европейской части ареала зимуют в Центральной и Южной Африке, где нередко образуют массовые скопления на мелководных водоемах в очагах распространения патогенных инфекций [8]. Большую часть времени перевозчики проводят на земле, подвергаясь нападению кровососущих насекомых. В гнездовой области держатся на побережьях, где возможен контакт как с человеком, так и с животными, выходящими к воде (через кровососущих насекомых, экскременты и др.).

Биологии, территориальному поведению и миграциям перевозчика посвящена целая серия работ западных авторов, в том числе [5], [7]. Вместе с тем данные, по которым можно было бы составить полное представление о территориальных связях и перемещениях вида на Северо-Западе России, крайне фрагментарны и малоинформативны.

Многолетние исследования с применением индивидуального мечения птиц позволили описать особенности гнездовой биологии и территориального поведения перевозчиков у 61° с. ш. и оценить сроки их перемещений в Восточном Приладожье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работы проводили в 1990–2007 годах в Олонецком районе Карелии на орнитологическом

стационаре «Маячино» Института биологии Карельского НЦ РАН [2]. Под контролем находились кулики, гнездившиеся на 5-километровом отрезке побережья Ладожского озера с песчаными пляжами, перемежающимися с каменистыми участками, покрытыми травянистой и кустарниковой растительностью. Ширина пляжей колебалась по годам в зависимости от изменений уровня воды. Работы включали учеты численности, поиск гнезд, отлов, кольцевание и наблюдения за перемещениями меченых птиц на протяжении периода пребывания вида в регионе. Абсолютный учет включал поиск и картирование участков всех территориальных пар, их гнезд и выводков.

Гнездящихся птиц отлавливали в основном у выводков, чтобы не привлекать к кладкам внимание ворон и других хищников. Для отлова использовали лучки [4], помещая птенцов в холщовом мешочке в углубление под нитями в центре ловушки. Если возникала необходимость отловить насиживающих птиц, использовали сети с ячейей 26–30 мм, длиной около 7 м и высотой до 2 м, которые устанавливали в 5–15 м от гнезда под прикрытием кустарника. Однако такой способ ловли неэффективен на открытых пляжах и при ветреной погоде.

У пойманных птиц измеряли длину крыла, хвоста, цевки и клюва, проверяли наличие линьки. В зависимости от окраски и состояния оперения пойманных птиц относили к младшей (годовалые) или старшей возрастной группе. Сложность представляло определение пола.

У перевозчика отсутствует половой диморфизм в окраске, размерах и поведении при насиживании кладок и вождении выводков. В начале гнездового периода его показателем могут служить форма клоакального выступа и наличие наседного пятна, но самцы, которых ловили при выводках, по этим признакам уже не отличались от самок. Поэтому половую принадлежность определяли в предбрачный период, наблюдая за токовыми играми вернувшихся окольцованных особей, их спариванием или тяжелым полетом самок в дни кладки.

Всех взрослых особей и птенцов близких пар метили индивидуальным сочетанием алюминиевых и цветных пластиковых колец, в остальных случаях использовали один вариант на выводок. Всего маркировано 140 взрослых птиц (77 самок, 54 самца, у 9 экземпляров пол не определен) и 432 птенца из 141 выводка. Около 45 % взрослых птиц возвращались на контролируемую территорию в течение 1–7 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Перевозчик *Actitis hypoleucos* L. – дальний мигрант, численность которого в Европе в последние десятилетия падает и с середины 1990-х годов сократилась уже на 40 % [6]. В Карелии этот вид обычен, населяет острова и побережья водоемов разных типов [1]. Минимальный размер острова, где встречен выводок, 30×50 м². В регионе насчитывается 26,7 тыс. рек и более 61 тыс. озер; общая протяженность водной сети 83 тыс. км, и только на одном Онежском озере насчитывается более 1200 островов (см.: Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2005 году). Благодаря большой протяженности береговой линии перевозчик входит в число наиболее многочисленных куликов Карелии, а сам регион имеет важное значение для воспроизводства вида.

По данным абсолютного учета, на контролируемом отрезке побережья численность птиц колебалась по годам от 2,6 до 6,3 пар/км береговой линии. Большинство их концентрировалось на завалуненных участках, где показатели иногда доходили до 12 пар/км береговой линии (2004 год), тогда как на песчаных пляжах не превышали 2,5 пар/км. Гнезда располагались как вблизи воды, так и на склонах берегового вала и за ним в лесу на расстоянии до 260 м от воды, но чаще – в 20–50 м.

Межгодовые колебания уровня озера, отражаясь на ширине пляжей, влияли на численность птиц и их распределение по побережью. В годы подъемов из-за затопления пологих участков (иногда до основания склона) и уменьшения площадей каменистых пляжей возможности гнездования сокращались, численность падала, больше пар оседало по периферии песчаных пляжей, а гнезда размещались в основном в лесу.

Весной перевозчики прилетают в южную часть республики в начале мая. Период откладки яиц в Приладожье – около 1,5 месяца: наиболее ранняя дата начала кладки ($n = 269$) 7.05.2000, поздняя – 23.06.1993, вылупления птенцов ($n = 250$) – 2.06–12.07.

Наблюдения показали, что в предбрачный период как самцы, так и самки, хотя и придерживаются своих участков, могут выходить за их пределы и спариваться с соседями. В насиживании участвуют оба партнера: пока один сидит на кладке, другой отдыхает рядом на берегу или кормится, иногда уходя за несколько сот метров и облетая по воде занятые участки. При разорении кладки до начала июня или в процессе откладки яиц птицы повторяли попытку гнездования, при потере выводка обычно быстро исчезали с контролируемого отрезка побережья. После выхода птенцов (обычно на 2-й день) пары жестко охраняли свои участки от соседей, практически не покидая их. Протяженность отрезка побережья, занимаемого выводком, не менее 70 м. При высокой плотности населения птиц его границы не менялись (70–120 м), так как соседи активно дрались и гоняли чужих подросших птенцов. При низкой плотности границы участка постепенно расширялись, иногда превышая 250 м.

Птенцы с первых дней хорошо бегают, плавают и ныряют, в 11 дней – подлетывают, к 19 дням хорошо летают. Распадение выводка, до которого редко доживает более 2 птенцов, процесс постепенный. Птенцы покидают участок родителей по одному в 17–24 дня. Молодежь из разных выводков объединяется в небольшие группы с постоянно меняющимся составом, которые часто включают 4–5 птенцов, чем напоминают выводки. В отличие от взрослых, которые отлетали без предварительных перемещений в окрестностях своего участка, молодые перевозчики какое-то время кочевали вдоль побережья, постепенно увеличивая широту перемещений и смешиваясь с сеголетками неизвестного происхождения.

У самцов, которых отлавливали у гнезд и выводков, признаки линьки контурного оперения отмечали с 13.06, у самок – только с 21.06. Независимо от стадии размножения (яйца, выводок) к 10.07 исчезали все местные самцы. Вместе с ними уходили рано отгнздившиеся самки и часть птенцов из ранних выводков. Дружный массовый отлет удавалось наблюдать при безветренной погоде в начале июля. Он начинался с всеобщей звонкой переклички, после которой всю ночь над водой слышались голоса куликов, поодиночке летевших вдоль берега на юго-восток.

К середине июля контролируемую территорию покидало большинство местных птиц; до августа оставались преимущественно самки с поздними выводками. В конце июля – начале августа исчезали даже птенцы из поздних гнезд, только достигшие 18–20 дней (поздняя дата – 4.08.2001).

Встречи птенцов старше 35 дней единичны. Максимальный возраст сеголетка, зарегистрированного на побережье в 4,7 км от места кольцевания, 44 дня (25.07.2005). К началу августа резко сокращалось и число проходящих неокольцованных птиц, хотя отдельные особи встречались даже в начале сентября. По-видимому, многие перевозчики оказываются далеко за пределами региона уже в июле: птица, гнездившаяся в Маячино в 1992 году, была окольцована взрослой в Причерноморье (1566 км) 20.07.1991. Судя по полученным данным, послегнездовые перемеще-

ния местных перевозчиков в Приладожье непродолжительны по срокам и довольно ограничены по дальности. А основная часть птиц северных популяций минует Приладожье без задержек на его побережьях.

Благодарим сотрудников лаборатории зоологии КарНЦ РАН [В. Б. Зимина, А. В. Артемьева, Н. В. Лапшина, студентов ПетрГУ С. А. Баранову, Л. Г. Корвякову, Н. А. Улицкую и многих других, кто оказывал помощь в поиске гнезд, отловах птиц и их ежедневном контроле на стационаре «Маячино».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зимин В. Б., Сазонов С. В., Лапшин Н. В., Хохлова Т. Ю., Артемьев А. В., Анненков В. Г., Яковлева М. В. Орнитофауна Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1993. 220 с.
2. Зимин В. Б., Лапшин Н. В., Артемьев А. В., Хохлова Т. Ю. Результаты кольцевания птиц в Карелии // Кольцевание и мечение птиц в России и сопредельных государствах в 1988–1999 гг. М.: ИПЭИЭ, 2002. С. 73–116.
3. Львов Д. К., Ильичев В. Д. Миграции птиц и перенос возбудителей инфекции (эколого-географические связи птиц с возбудителями инфекций). М.: Наука, 1979. 270 с.
4. Носков Г. А., Рымкевич Т. А., Смирнов О. П. Ловля и содержание птиц (Жизнь наших птиц и зверей). Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. Вып. 6. 240 с.
5. Dougall T. W., Holland P. K., Yalden D. W. The population biology of Common Sandpipers in Britain // British Birds. 2010. Vol. 103. P. 100–114.
6. Škorpilová J., Voříšek P., Klvaňová A. European wild bird indicators, 2010 update. EBCC (European Bird Census Council). 2010. Available at: <http://www.ebcc.info/index.php?ID=389>
7. Holland P. K. Relationship between Common Sandpipers *Actitis hypoleucos* breeding along the River Lune, England, and those fattening for migration near its mouth with a model of their onward migration // Wader Study Group Bulletin. 2009. № 116 (2). P. 83–85.
8. Lvov D. K., Butenko A. M., Gromashevsky V. L., Kovtunov A. I., Prilipov A. G., Kinney V. E., Voronina A. G. West Nile virus and other zoonotic viruses in Russia: examples of emerging-reemerging situations // Arch Virol Suppl. 2004. № 18. P. 85–96

Khokhlova T. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Lunina T. L., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

BREEDING BIOLOGY AND TERRITORIAL BEHAVIOR OF COMMON SANDPIPER *ACTITIS HYPOLEUCOS* L. INHABITING THE COAST OF LADOGA LAKE

Collected in 1990–2007 monitoring data on the local population of Common Sandpiper *Actitis hypoleucos* inhabiting the eastern coast of Ladoga Lake are summarized. 140 adult species (45 % of them returned to the coast every 1–7 years) and 432 nestlings (141 broods) were marked individually. The number of nesting birds varied every year from 2,6 to 6,3 pairs/km of the coastline. A period of egg-laying started ($n = 269$) on the 7.05–23.06, a hatching period ($n = 250$) – 2.06–12.07. Both partners covered the eggs. Male species left their nests inclusive the ones with eggs up to the 10th of July. Female species guarded the nests until the broods' complete dissociation. The latest observation was registered on the 30th of July in 2001. The younglings left their parents 17–24 days after they hatched. They united in small groups with a non-regular structure. The amplitude of their movement gradually increased. The younglings that hatched later left their nests on the controlled coast of the lake in late July or early August (the latest observation – 4.08.2001).

Key words: Common Sandpiper *Actitis hypoleucos*, breeding biology, territorial behavior, individual marking

REFERENCES

1. Zimin V. B., Sazonov S. V., Lapshin N. V., Khokhlova T. Yu., Artem'ev A. V., Annenkov B. G., Yakovleva M. V. *Ornithofauna Karelii* [Avifauna of Karelia]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 1993. 220 p.
2. Zimin V. B., Lapshin N. V., Artem'ev A. V., Khokhlova T. Yu. Results of birds ringing in Karelia [Rezultaty kol'tsevaniya ptits v Karelii]. *Kol'tsevanie i mechenie ptits v Rossii i sopredel'nykh gosudarstvakh v 1988–1999 gg.* [Ringing and marking of the birds in Russia and contiguous States at 1988–1999 years]. Moscow, IPEIE Publ., 2002. P. 73–116.
3. L'vov D. K., Il'ichev V. D. *Migratsii ptits i perenos vozбудiteley infektsii (ekologo-geograficheskie svyazi ptits s vozбудiteleyami infektsiy)* [Migrations of birds and transfer of causative agents (ecological and geographical relations with causative agent)]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 270 p.
4. Noskov G. A., Rymkevich T. A., Smirnov O. P. *Lovlya i sodержanie ptits (Zhizn' nashikh ptits i zverey)* [Catching and maintenance of birds (Life of our birds and animals)]. Leningrad, Izd-vo LGU Publ., 1984. Issue 6. 240 p.
5. Dougall T. W., Holland P. K., Yalden D. W. The population biology of Common Sandpipers in Britain // British Birds. 2010. Vol. 103. P. 100–114.
6. Škorpilová J., Voříšek P., Klvaňová A. European wild bird indicators, 2010 update. EBCC (European Bird Census Council). 2010. Available at: <http://www.ebcc.info/index.php?ID=389>
7. Holland P. K. Relationship between Common Sandpipers *Actitis hypoleucos* breeding along the River Lune, England, and those fattening for migration near its mouth with a model of their onward migration // Wader Study Group Bulletin, 2009. № 116 (2). P. 83–85.
8. Lvov D. K., Butenko A. M., Gromashevsky V. L., Kovtunov A. I., Prilipov A. G., Kinney V. E., Voronina A. G. West Nile virus and other zoonotic viruses in Russia: examples of emerging-reemerging situations // Arch Virol Suppl. 2004. № 18. P. 85–96

Поступила редакцию 11.09.2015

ИРИНА МИХАЙЛОВНА ДЗЮБУК

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

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЕРША (*GYMNOCEPHALUS CERNUUS* (L)) ОЗЕР КАРЕЛИИ

Представлены результаты многолетнего (1995–2010 годы) исследования ерша (*Gymnocephalus cernuus* (L)) Онежского озера (Лахтинская губа, Кондопожская губа), озер Кончезерской группы (Пертозеро и Кончезеро). Выявлены возрастной, половой, размерно-массовый состав популяций ерша. В Лахтинской губе Онежского озера при меньшей биомассе и большей численности макрозообентоса ерш имеет наибольшие длину, массу и приросты, чем в Кондопожской губе (район Тулгубы). Это может быть связано с многолетним функционированием в Лахтинской губе форелевого хозяйства, а именно с поступлением в воду губы искусственных форелевых кормов, не использованных выращиваемой форелью. В озерах Пертозеро и Кончезеро отмечено стабильное состояние популяций ерша, при благоприятных условиях, которые отмечаются сейчас, он может быстро увеличить численность. Показана необходимость и предложены меры регуляции численности ерша.

Ключевые слова: ерш, рост, возраст, пол, длина, масса, приросты, форелевое хозяйство, Онежское озеро, Лахтинская губа, Кондопожская губа, озеро Пертозеро, озеро Кончезеро

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная деятельность человека предполагает разнообразные воздействия (загрязнение, промысел, вселение видов, рыбоводство и др.) на водные экосистемы, в результате чего происходят изменения в состоянии среды и гидробионтов, в том числе рыбного населения.

Одним из модельных объектов, по состоянию популяции которого можно судить о водной среде, является ерш (*Gymnocephalus cernuus* (L.)). Он очень чувствителен к изменениям условий обитания и чутко реагирует на них. Ерш имеет высокую плодовитость (от 2 до 10 тыс. икринок, в озерах южных районов Карелии – до 100 тыс. икринок). Следовательно, при благоприятных условиях он может достигать большой численности. При этом обостряется пищевая конкуренция ерша с видами (сиг, лещ, палия), с которыми он имеет сходный спектр питания (личинки хирономид, ручейников и др.); на нерестилищах ряпушки, леща, плотвы он становится активным потребителем их икры, хотя сам является объектом питания хищных видов рыб. Таким образом, ерш может оказывать влияние на рыбопродуктивность водоемов и, соответственно, на функционирование водной экосистемы в целом [1], [3], [5].

До середины 1960-х годов ерш являлся одним из объектов промысла на водоемах Карелии, но удельный вес его в общих уловах был незначительный – 2–3 %. С 1970 года специального промысла ерша не ведется, он составляет лишь прилов при весеннем промысле плотвы, окуня и других рыб. В настоящее время в общих уловах ерш составляет порядка 2 %. Он обладает значи-

тельным продукционным потенциалом, запасы его высокие, однако они недоиспользуются.

Целью работы было оценить состояние популяций ерша Онежского озера (Лахтинская и Кондопожская губы) и озер Кончезерской группы (Пертозеро, Кончезеро).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор ихтиологического материала проводился в ходе мониторинга с 2001 по 2010 год на Онежском озере (Лахтинская губа, Кондопожская губа) и с 1995 по 2007 год – на озерах Кончезерской группы (Пертозеро, Кончезеро). Объектом исследования был ерш (*Gymnocephalus cernuus* (L.)). Вылов его проводили в летний период (июнь – август) при помощи ставных сетей, тяглового невода и на удочку. Объем собранного материала составил 1200 экземпляров. Обработка материала осуществлялась по общепринятым методикам [6], [7]. Исследовали возрастной состав ерша, половой и размерно-массовый, оценивали приросты. Статистическая обработка проводилась с применением методов вариационной статистики [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе мониторинговых исследований были получены материалы по возрастным, размерно-весовым, половым особенностям популяций ерша из различных озер Карелии.

В юго-западной части Онежского озера (Лахтинская губа, район Шелтозеро–Брусно) в 2001–2010 годах ерш был представлен возрастными группами от 0+ до 8+ лет. В 2001 году от 0+ до 5+, то есть рыбы старших возрастов не встреча-

лись в уловах. Начиная с 2005 года в уловах отсутствовали особи младшего возраста (0+...2+). В 2001 году основу уловов (42,6 %) составили четырехлетки (3+), в последующие годы (2005 и 2010) преобладали (33,3 и 32,0 % соответственно) пятилетки (4+). Это может быть свидетельством начавшихся изменений в возрастном составе локальной популяции ерша Лахтинской губы Онежского озера.

Известно, что в Лахтинскую губу Онежского озера в период работы форелевого хозяйства (1996–2006 годы) стал заходить лещ, привлекаемый искусственными кормами. Он в больших количествах присутствовал в уловах. Вероятно, что после закрытия хозяйства (отсутствие поступления в воду искусственных форелевых кормов), наряду с тем, что обострилась пищевая конкуренция леща с ершом (бентофаги), крупный лещ, возможно, стал активным потребителем молоди ерша. Следовательно, это могло отразиться на изменении возрастного состава ерша в губе – снижении численности младших возрастных групп. Нельзя исключить многолетнюю цикличность численности возрастных групп как адаптационный механизм сохранения популяции рыб в нестабильных условиях внешней среды.

Длина ерша Лахтинской губы Онежского озера – от 6,5 до 18,8 см, масса – от 4,3 до 82,0 г. Величины абсолютного прироста в диапазоне от 0,2 до 2,2 см и от 1,6 до 24,3 г. Максимальные приросты длины и массы были отмечены в возрастном периоде 7+...8+. На рисунке представлены средние за многолетний период исследований значения длины и массы ерша.

В результате исследований выявлено количественное преобладание (60–83 %) самок ерша над самцами. В разные годы в разных возрастных группах соотношение составляло от 1,5:1 до 4:1 в пользу самок. Между самками и самцами ерша различия по длине и массе не были выявлены [4].

В 2003–2005 годах возрастной состав популяции ерша Кондопожской губы Онежского озера (район Тулгубы) был представлен возрастными группами от 1+ до 7+. Наибольшее количество (40 %) рыб в уловах было возраста 5+. В этом районе Онежского озера ерш достигал длины от 7,5 до 17,4 см, массы – от 5,0 до 44,6 г. Максимальные

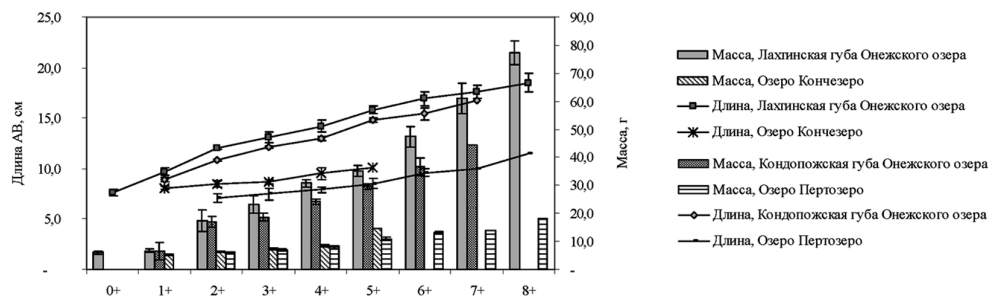
приросты длины и массы отмечены в возрастной период 2+...3+ и составляли 2,0–4,5 см и 11,4–19,8 г. В более старших возрастах прирост по длине не превышает 1,5 см, по массе – 11 г.

Таким образом, было выявлено, что ерш Лахтинской губы Онежского озера достоверно больше по размерам, массе и приростам по сравнению с ершом из Кондопожской губы (район Тулгубы). Хотя в Лахтинской губе численность и биомасса макрозообентоса в среднем за период исследований составили 693,6 экз./м² и 0,78 г/м² соответственно, а в Кондопожской губе эти показатели были 336,6 экз./м² и 1,68 г/м². То есть при меньшей биомассе и большей численности донных организмов темп роста ерша оказался быстрее. Следовательно, рост ерша зависит не только от количества, но и от качества корма, которое определяется видовым составом макрозообентоса. К тому же, возможно, что в условиях Лахтинской губы Онежского озера на состоянии кормовой базы ерша отразилась работа форелевого хозяйства (поступление искусственных кормов в водоем).

В озерах Кончезерской группы (Кончезеро, Пертозеро) ерш всегда имел высокую численность (несколько уступая окуню и плотве). В результате исследований было выявлено, что возрастной состав популяций ерша включал по 7 возрастных групп: кончезерского – 1+...7+, пертозерского – 2+...8+. Основу в уловах ерша в обоих озерах составляли четырех- и пятилетки (3+, 4+) – до 35 %.

Рост ерша в озерах Кончезерской группы медленнее по сравнению с ершом Онежского озера (Лахтинская губа, Кондопожская губа) (см. рисунок). Так, длина ерша Кончезера в пределах 7,9–13,5 см, масса – 5,2–23,0 г. Максимальные среднегодовые приросты длины 2,4 см, массы 11,1 г отмечены в возрастной период 4+...5+, то есть после периода массового полового созревания. Длина ерша Пертозера составила 7,1–11,5 см, масса – 6–18 г. Максимальные приросты 1,1 см и 4,0 г также отмечены в возрасте 4+...5+.

Результаты наших исследований подтверждают, что потенциал роста у ерша высокий и в определенных условиях (благоприятные условия воспроизводства, низкий пресс хищников, высокая численность) ерш, способный расти быстро,



Размерно-массовые показатели ерша Онежского озера (Лахтинская и Кондопожская губы, среднее за 2001–2010 годы) и Кончезерских озер (Пертозеро и Кончезеро, среднее за 1995–2007 годы)

растет медленно. Однако анализ показателей роста ерша за многолетний период свидетельствует о стабильных условиях его существования в озерах Кончезеро и Пертозеро. Этому способствует хорошее развитие кормовой базы. Так, средние численность и биомасса макрозообентоса за период исследований составили для Кончезера – 1216,8 экз./м² и 8,9 г/м², для Пертозера – 1487,0 экз./м² и 5,6 г/м² соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что состояние популяций ерша Онежского озера (Лахтинская губа, Кондопожская губа) благоприятное. К возрасту 7+...8+ лет он достигает значительных размеров и массы, для него характерны высокие приросты. Ерш Лахтинской губы, при менее развитом по биомассе и более развитом по численности макрозообентосе, имеет наибольшие размеры, массу и приросты. Это может быть результатом поступления в воду губы кормов от форелевого хозяйства.

Высокая численность ерша в озерах Кончезерской группы является фактором, ограничивающим его рост. В озерах Пертозеро и Кончезеро он не достигает больших размеров, не отличается высокими приростами. Однако в настоящее время сложились благоприятные условия для ерша – приостановился процесс эвтрофикации водоемов, снизилась численность видов, имеющих сходный спектр питания с ним, имеются благоприятные кормовые условия. Это может привести к дальнейшему увеличению численности ерша, что усугубит состояние запасов ценных промысловых видов (ряпушки, сига, леща). Поэтому с рыбохозяйственной точки зрения желательна регуляция (уменьшение) численности ерша, для этого целесообразно использовать сочетание нескольких методов: мутниковый промысел ерша в местах его концентраций; сокращение площадей нерестилищ ерша; увеличение запасов хищных видов рыб (налим, судак, щука, крупный окунь), питающихся ершом; систематическое проведение спортивного лова ерша на удочку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас пресноводных рыб России. Т. 2. М.: Наука, 2002. С. 62–64.
2. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. 104 с.
3. Ивантер Д. Э., Рыжков Л. П. Рыбы. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. С. 121–122.
4. Ключкина Е. А., Дзюбук И. М. Математико-статистический анализ данных по результатам морфобиологического исследования ерша Лахтинской губы Онежского озера // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2010. № 6 (111). С. 65–76.
5. Костылев Ю. В. Рыбы. Петрозаводск: Карелия, 1990. 149 с.
6. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
7. Рыжков Л. П., Дзюбук И. М., Кучко Т. Ю. Ихтиологические исследования на водоемах: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2013. 72 с.

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

BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE RUFF (*GYMNOCEPHALUS CERNUUS* (L)) INDWELLING KARELIAN LAKES

Results of the study (1996–2010) on the ruff (*Gymnocephalus cernuus* (L)) indwelling the Onega Lake (Lakhtinskaya Bay, Kondopozhskaya Bay), Pertozero, and Konchzero lakes are presented. The age, the size, the gender, and the weight composition of the ruff's populations were identified. In Lakhtinskaya Bay of Lake Onega, the ruff with less biomass and with a higher number of macrozoobenthos has bigger length, weight, and population increase than in Kondopozhskaya Bay (area Tulguba). This phenomenon can be conditioned by the presence of the functioning trout farm located in Lakhtinskaya Bay, i.e. by the artificial trout feeds, which are not eaten by farmed trout. A stable numerical strength in ruff population of Pertozero and Konchzero lakes was observed, but under favorable conditions the fish population can quickly increase in number. A need to regulate the fish numerical strength is proven, and a set of necessary measures instrumental in numerical strength regulation are offered.

Key words: ruff, growth, age, gender, length, weight, increase, trout farm, Lake Onega, Lakhtinskaya Bay, Kondopozhskaya Bay, Lake Pertozero, Lake Konchzero

REFERENCES

1. *Atlas presnovodnykh ryb Rossii* [Atlas of fresh-water fishes of Russia]. Moscow, Nauka Publ., 2002. Vol. 2. P. 62–64.
2. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Vvedenie v kolichestvennyuyu biologiyu: Uchebnoe posobie* [Introduction to quantitative biology. Textbook for students of biol. specialty]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2010. 104 p.
3. Ivanter D. E., Ryzhkov L. P. *Ryby* [Fishes]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2004. P. 121–122.
4. Klyukina E. A., Dzyubuk I. M. The mathematical and statistical analysis of the data by results morphophysiological researches of a raffe of the Lahta lip of Onego lake [Matematiko-statisticheskiy analiz dannykh po rezul'tatam morfofiziologicheskogo issledovaniya ersha Lakhtinskoy guby Onezhskogo ozera]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2010. № 6 (111). P. 65–76.
5. Kostylev Yu. V. *Ryby* [Fishes]. Petrozavodsk, Kareliya Publ., 1990. 149 p.
6. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Study guide of fishes]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1966. 376 p.
7. Ryzhkov L. P., Dzyubuk I. M., Kuchko T. Yu. *Ikhtiologicheskie issledovaniya na vodoemakh: Uchebnoe posobie* [Ichthyological research on reservoirs. Textbook]. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University Publ., 2013. 72 p.

Поступила в редакцию 05.08.2015

УДК 581.524.32:551.438.222(470.22)

СТАНИСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ КУТЕНКОВ

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
effort@krc.karelia.ru

ВИКТОР ЛЕОНИДОВИЧ МИРОНОВ

ведущий биолог лаборатории болотных экосистем, Институт биологии Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
vict.mironoff@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ТОРФЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЙМЕННОГО БОЛОТА РАВДУКОРБИ (КАРЕЛИЯ)*

Болото Равдукорби расположено вдоль одноименного ручья и примыкает к Вагатозеру, озеру-плесу на р. Шуя (южная Карелия). Болото испытывает регулярные подтопления в периоды половодий, что связано с гидрологическим режимом озера и равнинным характером окружающей местности. Проведенные в 2013 году исследования выявили следующую последовательность смены растительных сообществ по мере удаления от ручья: открытые осоково-сабельниковые и ивово-сабельниковые сообщества; травяно-кустарничково-сфагновые сообщества с редким древостоем березы; березняк болотно-травяной; сосняк травяно-сфагновый; сосново-кустарничково-сфагновое мезоолиготрофное сообщество. ДСА-ординация описаний подтвердила ведущую роль пойменно-аллювиального градиента в организации растительного покрова болота. Торфяная залежь имеет мощность в среднем 100 см, наибольшая ее глубина в 135 см достигается под мезоолиготрофным участком. Торфа имеют преимущественно низинный генезис, высокую степень разложения, характеризуются сильным заиливанием. Действие Вагатозера на торфяную залежь Равдукорби прослеживается на протяжении всей истории их совместного существования, при этом большая часть залежи соответствует современному составу сообществ. Отмечена олиготрофизация участков, вышедших в настоящее время из-под сферы влияния озерных вод.

Ключевые слова: растительные сообщества, пойменно-аллювиальный режим, заливные болота, ДСА-ординация, стратиграфия торфяной залежи, Шуйская низина, болотные леса

ВВЕДЕНИЕ

Исследование болот, сезонно заливаемых полными водами проточных озер, интересно по ряду причин. Благодаря наличию пойменно-аллювиального эффекта, условия развития таких болот приближаются к редким для Фенноскандии условиям пойменных приречных болот. В их растительном покрове преобладают специфические травяные и ивово-травяные сообщества с обилием прибрежно-водных видов сосудистых растений и незначительной ролью мхов. Торфяные отложения на длительно заливаемых участках образуются при сложном сочетании болотного и аллювиального, а иногда и дернового почвообразовательных процессов. Нередко такие болота являются естественной средой обитания речных бобров, появление которых вызывает дополнительную, более глубокую трансформацию гидрологического режима. Наиболее отчетливо такие особенности проявляются на болотах, развивающихся совместно с крупными озерами-плесами. Типичным примером таких водоемов является Вагатозеро, расположенное в среднем течении р. Шуя. Большой удельный водосбор Вагатозера и равнинный характер прилегающей местности

обуславливают регулярные сезонные подтопления значительных территорий вокруг озера. В зоне заливания, к югу от Вагатозера, расположено болото Равдукорби. Болотные экосистемы, подобные Равдукорби, существуют в нетипичных для Карелии условиях и в настоящее время остаются слабоизученными.

Целью данной работы является изучение особенностей формирования растительности болотных экосистем в условиях поемности на примере озерно-болотной системы Вагатозеро – Равдукорби.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевые исследования проводились в июле 2013 года на болотном массиве Равдукорби в районе впадения ручья Равдукорби в Вагатозеро (61°42'15" с. ш., 33°12'40" в. д.). Дополнительно был обследован небольшой болотный массив у д. Нижняя Салма. Согласно материалам космической съемки, подтоплению подвергается основная часть болотной поверхности, включая болотные леса. В весеннее половодье воды Вагатозера внедряются более чем на 2 км вглубь, практически целиком заливая болото Равдукорби

и значительную часть болота у д. Нижняя Салма. Затем следует период спада воды, который достигает максимума в меженный период. В это время происходит разобшение болотной поверхности с уровнем озера и бурное развитие растительного покрова. Пойменный режим сопровождается болота на протяжении всего их существования и определяется гидрологическим режимом Вагатозера. Данный водоем является озером-плесом и фактически огромным расширением р. Шуя. Зеркало воды расположено на абсолютной отметке 90 м. Площадь акватории озера составляет 24,5 км². Средняя глубина 1,4 м, максимальная глубина 6,8 м. Водосборная площадь составляет 7480 км². Удельный водосбор Вагатозера равен 305,3, что обуславливает активные водообменные процессы, значительную амплитуду уровня и высокую роль аллохтонного материала в осадконакоплении. Полный водообмен Вагатозера осуществляется менее чем за 1 неделю [9]. В результате среднегодовой амплитуда уровня составляет 180–200 см¹, что обуславливает регулярные сезонные подтопления и пойменный режим смежных с озером участков. В геоморфологическом отношении прилегающая местность входит в состав Шуйской низины. Она имеет малый перепад высот и слабовыраженный уклон в сторону озера. Наибольшая заболоченность равнины отмечается к северу от Вагатозера, самые отдаленные отроги представлены болотами Корзинской низины, которые в настоящее время полностью осушены. К югу от озера площадь болот заметно меньше, в этой части преобладают лесные болота, в древостое которых доминируют преимущественно береза и сосна. С юго-запада равнина ограничена мощной озовой грядой, которая по направлению к северу, пересекая р. Шуя, плавно переходит в Вешкельскую ледораздельную возвышенность. К востоку отмечается моренный характер местности с более пересеченным рельефом.

В начале голоцена территория Шуйской низины была занята крупным приледниковым водоемом, который по мере открытия различных путей стока претерпевал серию регрессий и трансгрессий [1], [4]. По последним данным [1], около 10300 лет назад в результате повторного открытия стока через р. Свирь в Ладожское озеро его уровень опустился до современной отметки Вагатозера. Данное событие оказало существенное влияние на формирование современных ландшафтов и историю заболачивания Шуйской низины [1], [4]. Как отмечает Г. А. Елина [2], [3], болота на нижних ее отметках (80–95 м) совершенно отличаются от залегающих выше, они начали развиваться в начале субатлантического периода (около 2000 л. н.), имеют неглубокую торфяную залежь и находятся в основном на мезотрофной стадии развития. В начале субатлантикума произошло изменение климата в сторону похолодания, что привело к подтоплению всех,

даже незначительных, понижений рельефа и интенсивному заболачиванию неглубоких котловин на данных высотных отметках [4]. По всей видимости, болото Равдукорби соответствует описываемым Г. А. Елиной болотам и имеет сходный возраст.

Исследования растительного покрова выполнялись маршрутным методом. Геоботанические описания велись бесплощадным методом в пределах однородных участков растительности. Показатели древостоя (состав, сомкнутость, высота) определялись глазомерным способом. Для нижних ярусов растительности определялся видовой состав и проективное покрытие видов в процентах. В соответствии с имеющейся классификацией [12] определялась принадлежность описываемых участков к группам биотопов. На участках измерялась мощность торфяной залежи, определялся тип подстилающей породы. Всего выполнено 23 геоботанических описания растительности, из них 3 описания (ельник хвощово-сфагновый, черноольшаник таволговый приручейный и изолированное низинное болото) не вошли в дальнейший анализ.

Для упорядочивания данных, а также для поиска ведущих факторов среды на основе математических закономерностей организации растительности был использован бестрендовый анализ соответствия (DCA) с построением ординационных диаграмм [11]. Ординация описаний проводилась с масштабированием осей. Для расчета нагрузки на оси использовалось сопоставление значений расстояний в ординационном пространстве с коэффициентом Сьеренсена, полученным для первичной матрицы. Обработка материала проводилась в программе PC-ORD v. 6.0. Проанализировано две матрицы проективного покрытия видов – по полному видовому составу (включая древостои, подрост и подлесок) и по нижним ярусам. В обоих случаях были получены близкие распределения описаний в ординационном пространстве и сходные нагрузки на оси, в связи с чем в работе приведены результаты анализа только полного видового состава сообществ.

Для изучения динамики болотных участков и установления хода развития всего болотного массива выполнено 11 торфяных разрезов с последующим отбором образцов торфа. Большая часть разрезов заложена по профилю на левом берегу Равдукорби в направлении юг – север и на правом берегу – запад-восток (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Болото Равдукорби находится к югу от Вагатозера, вдоль одноименного ручья. Болотный массив вытянут с северо-запада на юго-восток и расположен перпендикулярно берегу озера. От озера отделяется песчаным береговым валом шириной 30 м, который размывает в месте впадения ручья. Болото имеет вытянутую форму, его про-

тяженность составляет примерно 2,5 км, а ширина – около 0,5 км. Площадь болотного массива 215 га. Согласно существующей классификации приозерных болот Карелии и их биотопов [8], болото Равдукорби относится к надклассу естественных болот, классу заливных (пойменных) болот.

В растительном покрове, по мере удаления от ручья, четко прослеживается последовательность смен растительных сообществ (см. рис. 1). Открытые осоково-сабельниковые и ивово-сабельниковые сообщества образуют ближайшую к ручью полосу растительности. За ней следует полоса травяно-кустарничково-сфагновых сообществ с редким древостоем березы. Третью полосу образует березняк болотно-травяной, который по мере ослабления пойменно-аллювиального эффекта заменяется сосняком травяно-сфагновым. К западу от р. Равдукорби последнее сообщество примыкает к минеральному берегу, тогда как к востоку от него, вдоль озера, плавно переходит в сосново-кустарничково-сфагновое мезоолиготрофное сообщество.

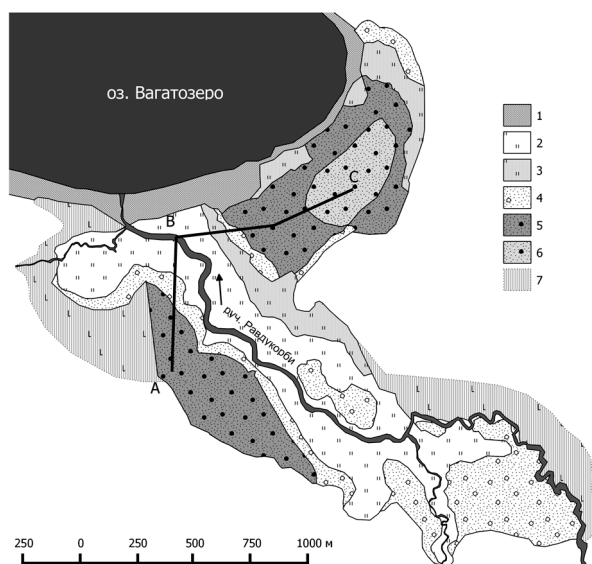


Рис. 1. Схема растительного покрова болотного массива Равдукорби: 1 – береговой вал, 2 – осоково-сабельниковые и ивово-сабельниковые сообщества, 3 – травяно-кустарничково-сфагновые сообщества, 4 – березняки болотно-травяные, 5 – сосняки вахтово-сфагновые мезоевтрофные, 6 – сосново-кустарничково-сфагновое мезоолиготрофное сообщество, 7 – вырубленные участки болотных лесов. Линией ABC обозначен стратиграфический профиль

Окружающие массив суходольные леса и часть болотных лесов нарушены рубками разной давности. Общая площадь открытых участков болот составляет 78 га, березняков болотно-травяных – 44 га, сохранившихся сосняков травяно-сфагновых – 45 га, сосново-кустарничково-сфагнового мезоолиготрофного участка – 10 га, вырубленные участки заболоченных лесов занимают 38 га.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

Осоково-сабельниковые и ивово-сабельниковые сообщества расположены непосредственно вдоль ручья. Данные сообщества соответствуют группе умеренно супераквальных болотных биотопов, их подтопление происходит ежегодно даже при незначительных весенних паводках. В основном к данной группе относятся различные комбинации сообществ с доминированием *Comarum palustre*²: от ивово-сабельниковых до осоково-сабельниковых. Основную ценообразующую роль в сообществах играют *Comarum palustre*, *Salix lapponum*, *Carex acuta*, *C. aquatilis*, *C. vesicaria*, *Calamagrostis canescens*, *Equisetum fluviatile*. Обращает на себя внимание значительное покрытие прибрежно-водных видов *Naumburgia thyrsiflora*, *Peucedanum palustre*, *Lysimachia vulgaris*, *Scutellaria galericulata*. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 80–100 %. Моховой покров отсутствует, за исключением единичных подушек *Sphagnum fimbriatum* и рассеянно встречающихся *S. squarrosum*, *Drepanocladus aduncus*. Мощность торфяной залежи составляет 100–120 см. Торфа низинные, со значительной примесью минеральных частиц, сильно уплотненные. Они соответствуют пойменным болотным почвам низинного подтипа, в которых регулярно отмечаются признаки гидрогенной аккумуляции железа. Их образование протекает при одновременном участии болотного и аллювиального почвообразовательного процессов.

Травяно-кустарничково-сфагновые сообщества с редким древостоем березы развиты преимущественно по правому берегу р. Равдукорби, где образуют четко выраженную полосу вслед за ивово-травяными сообществами. Средообразующая роль растений, характерных для предыдущей ассоциации, здесь заметно снижается, травяно-кустарничковый ярус более разрежен и богат видами, так, добавляются *Iris pseudacorus*, *Carex chordorrhiza*, *C. lasiocarpa*, *Menyanthes trifoliata*. На фоне этого отмечается существенное развитие сфагнового покрова, занимающего от 20 (отдельные подушки) до 80 % (сплошной ковер) площади участков. В нем представлены, как правило, толерантные к заливанню виды *Sphagnum squarrosum*, *S. teres*, *S. obtusum*, на удалении от ручья к ним добавляется *S. angustifolium*. Также отмечается редкий древостой и обилие кустарничков. Данные признаки указывают на существующую тенденцию к разобшению поверхности данных участков с озерными водами, заливание таких участков в настоящее время непродолжительное, сообщества соответствуют группе кратковременно супераквальных биотопов [8]. Мощность торфяных отложений под данными сообществами составляет 110–120 см.

Березняки болотно-травяные образуют лесные бордюры шириной до 50 м вдоль открытого участка. В древостое доминирует береза пушистая, имеется примесь ольхи черной, реже ивы козьей и сосны. Сомкнутость древостоя варьирует от 0,8 до 0,9, высота – от 10 до 16 м. В ярусе подроста и подлеска встречаются ольха, береза, крушина, различные виды ив. Травяно-кустарничковый ярус достаточно густой – 40–75 %. Проективное покрытие *Menyanthes trifoliata* достигает 50 %, обильны *Equisetum fluviatile*, *Comarum palustre*. Для сообществ характерны как болотные, так и прибрежно-водные виды: *Calamagrostis canescens*, *C. neglecta*, *Carex aquatilis*, *C. cinerea*, *C. lasiocarpa*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Iris pseudacorus*, *Lysimachia vulgaris*, *Scutellaria galericulata*, *Thyselium palustre*. Болотные и лесные кустарнички встречаются редко. Моховой ярус прерывистый, общее проективное покрытие составляет 40–60 %, преобладают *Sphagnum fimbriatum* и *S. squarrosum*, в меньшей степени *S. Central* и *S. obtusum*. Среди бриевых мхов обычно встречаются *Calliergon cordifolium*, *Calliergonella lindbergii*, *Straminergon stramineum*, *Pseudobryum cinclidioides*. Описанные сообщества можно отнести к группе кратковременно супераквальных биотопов. Мощность торфяной залежи аналогична приведенным выше участкам.

Сосняки вахтово-сфагновые мезоевтрофные. Древостои смешанные, формула древостоя 6С2Б2Олч+Е. Участие ели увеличивается к минеральному берегу. Сомкнутость крон варьирует от 0,5 до 0,8. Высота сосны и березы составляет 16–20 м, ольхи черной – 14–16 м. В подросте обильно встречается ольха, обычно ель, сосна, береза, реже – ива пепельная, рябина, крушина. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет от 25 до 50 %. Доминирует *Menyanthes trifoliata* (10–40 %), обильны *Equisetum fluviatile*, *Comarum palustre*, осоки (*Carex chordorrhiza*, *C. cinerea*, *C. lasiocarpa* и др.). Постоянны, но с небольшим покрытием болотные кустарнички – *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Oxycoccus palustris*, *Andromeda polifolia*. По микроповышениям растут *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea*, виды лесного мелкотравья. Эдификаторами мохового яруса являются *Sphagnum centrale*, *S. girgensohnii*, *S. squarrosum*. Из гидро- и гигрофильных видов мхов часто, но в небольшом количестве встречаются *Calliergon cordifolium*, *Straminergon stramineum*, *Climacium dendroides*, *Calliergonella lindbergii*, *Polytrichastrum longisetum*. По повышению микрорельефа встречаются типично лесные виды мхов. Обращает на себя внимание редкая встречаемость в таких сообществах *Sphagnum warnstorffii*, что указывает на обедненный водно-минеральный режим. Здесь также отсутствует целый блок видов бриевых мхов и таких сосудистых растений, как *Angelica sylvestris*, *Bistorta*

major, *Geum rivale* и др., характерных для сосняков богатого грунтового питания. Таким образом, их скорее следует относить к соснякам вахтово-сфагновым [5], [7]. При этом здесь имеется свой блок характерных видов (*Alnus glutinosa*, *Naumburgia thyrsoflora*, *Thyselium palustre*, *Calliergonella lindbergii*, *Polytrichastrum longisetum*, *Sphagnum squarrosum*), которые в комплексе являются индикаторами слабого влияния паводковых вод. Значительные отличия состава сообществ от типичных сосняков вахтово-сфагновых позволяют рассматривать их в рамках отдельной субассоциации.

Сосново-кустарничково-сфагновые мезоолиготрофные сообщества. Сомкнутость древостоев 0,3, снижаясь до 0,1 к центру участка. Высота также снижается с 12 до 6 м. В древостое полностью отсутствует ольха черная. Береза и ель присутствуют в качестве примеси. В центре участка древостой образован только низкой разреженной сосной. В растительном покрове преобладают виды верховых болот. Травяно-кустарничковый ярус имеет сомкнутость 40–50 %, сложен преимущественно болотными кустарничками *Vaccinium uliginosum*, *Ledum palustre*, *Chamaedaphne calyculata*, *Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris*. Среди трав обычными являются *Eriophorum vaginatum* и *Drosera rotundifolia*. Им сопутствуют более требовательные к водно-минеральному питанию виды *Menyanthes trifoliata* и *Carex lasiocarpa*, причем последняя достигает здесь наибольшего обилия. Спорадически встречается *Carex aquatilis*, сохранившаяся еще с прибрежно-водной стадии развития данного участка. Сфагновый покров сплошной, сложен олиготрофным *Sphagnum angustifolium* с примесью *S. magellanicum* и *S. russowii*, минеротрофные виды мхов полностью отсутствуют, лесные мезофиты встречаются в небольшом количестве по повышениям микрорельефа. Таким образом, растительный покров данного участка свидетельствует о его прогрессирующей олиготрофизации.

ДСА-ОРДИНАЦИЯ ОПИСАНИЙ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Ординация описаний (рис. 2) подтверждает наличие выраженного пойменно-аллювиального градиента растительности. Нагрузка, по Сьерсену, на обе ординационные оси составляет 82 %, при этом нагрузка на первую ось – 62 %, на вторую – 20 %. Таким образом, факторы, соответствующие обеим осям, описывают 82 % общей дисперсии описаний в ординационном пространстве, а первая ось вносит в 3 раза более существенный вклад.

Среди растений выраженную положительную корреляцию с первой осью имеют болотные и прибрежно-водные виды, устойчивые к пойменно-аллювиальному режиму: *Salix lapponum*, *Carex acuta*, *C. aquatilis*, *C. vesicaria*, *Comarum*

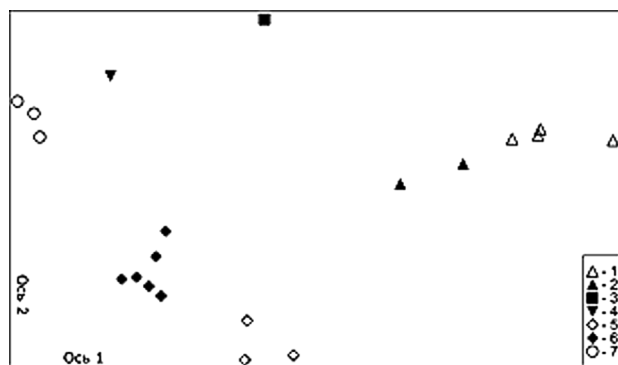


Рис. 2. Ординационная диаграмма геоботанических описаний растительного покрова: 1 – осоково-сабельниковые и ивово-сабельниковые сообщества, 2 – травяно-кустарничково-сфагновые сообщества, 3 – слабооблесенное сообщество со *Sphagnum obtusum*, 4 – слабооблесенное сообщество со *Sphagnum angustifolium*, 5 – березняки травяно-сфагновые, 6 – сосняки вахтово-сфагновые мезоевтрофные, 7 – сосново-кустарничково-сфагновые мезоолиготрофные сообщества

palustre, *Scutellaria galericulata*, *Naumburgia thyrsiflora* и др. Отрицательную корреляцию имеют виды преимущественно олиготрофного питания (сосна, болотные кустарнички, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum*), а также некоторые мезотрофные виды (*Carex lasiocarpa*, *Menyanthes trifoliata*). Распределение описаний вдоль первой оси ординации соответствует их пространственному положению относительно водотока. В правой части ординационной диаграммы расположены открытые травяные и ивово-травяные сообщества, наиболее приближенные к водотоку, а в левой части – сосново-кустарничково-сфагновые мезоолиготрофные сообщества, вышедшие из-под влия-

ния пойменно-аллювиального режима. Таким образом, первая ось отражает влияние пойменно-аллювиального градиента на растительный покров, что обуславливает и последовательную смену описаний по мере удаления от водотока.

Вторая ось в большей мере отражает градиент трофности. В нижней части диаграммы расположены сообщества болотно-травяного типа условий местопроизрастания, в верхней – сфагнового. Однако относительно низкое собственное значение оси свидетельствует о невысоком удельном значении данного фактора в исследуемой группе сообществ.

СТРАТИГРАФИЯ БОЛОТНОЙ ЗАЛЕЖИ

Мощность торфяной залежи болота Равду-корби в среднем составляет 100 см, при этом наибольшая ее глубина 135 см достигается под сосново-кустарничково-сфагновым мезоолиготрофным участком (рис. 3). Торфа практически по всей залежи (за исключением поверхностного слоя) характеризуются сильной разложённостью, степень их разложения обычно превышает 40 %. Торфяная залежь подстилается ленточными глинами с большим содержанием растительных остатков прибрежно-водных растений (*Equisetum*, *Nuphar*) в верхних слоях.

Глина перекрыта хвощовыми торфами с большим содержанием намывного минерального материала. Под открытыми участками вдоль ручья в нижних слоях торфа фиксируется обилие остатков осок (*Carex acuta*, *C. rostrata*). Под облесенными сообществами в базальном слое торфа содержится большое количество остатков вахты и тростника, однако в данном случае нельзя исключать более позднего проникновения подзем-

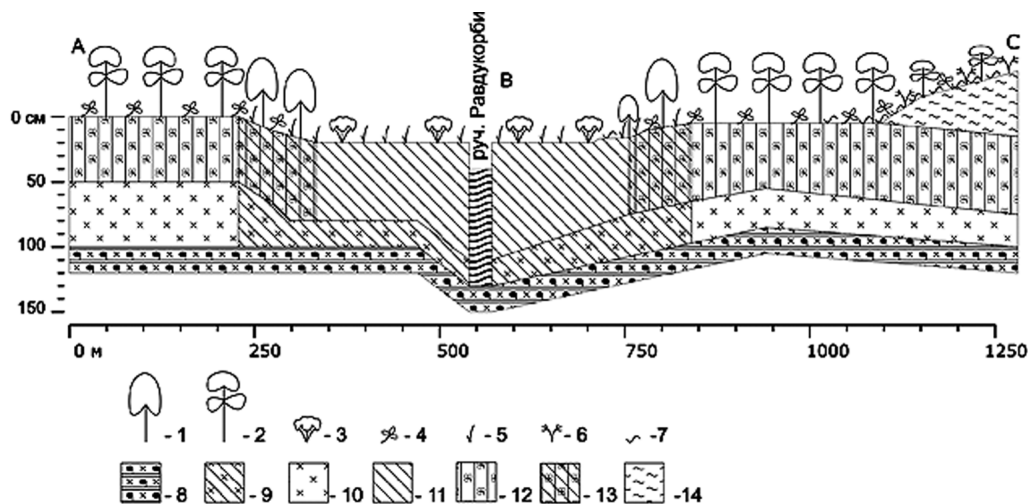


Рис. 3. Схематический профиль через торфяную залежь: 1 – береза, 2 – сосна, 3 – ива, 4 – вахта, 5 – осоки, 6 – кустарнички, 7 – сфагны, 8 – глина с остатками растений (*Equisetum*, *Nuphar*), 9–14 – торфа, соответствующие сообществам: 9 – осоково-хвощевым (*Carex acuta*, *C. rostrata*, *Equisetum*, *Nuphar*), 10 – хвощевым (*Equisetum*, *Phragmites*, *Menyanthes*), 11 – современным травяным (*Carex acuta*, *C. rostrata*, *C. vesicaria*, *Comarum*, *Calamagrostis*), 12 – березнякам болотно-травяным (*Betula*, *Pinus*, *Carex acuta*, *C. lasiocarpa*, *Menyanthes*, *Equisetum*), 13 – мезоевтрофным соснякам вахтово-сфагновым (*Pinus*, *Menyanthes*, *Equisetum*), 14 – мезоолиготрофным соснякам со сплошным сфагновым покровом (*Pinus*, *Ericales*, *Carex lasiocarpa*, *Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum*)

ных частей этих растений. Толщина хвощового торфа по всему профилю составляет от 20 до 50 см.

Над хвощовым торфом в залежи открытых участков расположен слой осокового торфа (*Carex acuta*, *C. rostrata*) с участием сабельника и вейника, отражающего окончательный переход участка от мелководных условий к поемным.

В березняке над хвощовым торфом следует 50 см торфа с остатками березы, сосны, хвоща, вахты, осок (*Carex acuta*, *C. lasiocarpa*), *Sphagnum squarrosum*. Данный торф был отложен современными сообществами. Более высокое содержание осок в торфе березняка (15–25 %), в частности *Carex acuta*, чем в соседнем сосняке, свидетельствует, что с момента облесения участка здесь всегда существовало пограничное древесно-осоково-травяно-сфагновое сообщество с участием березы и сосны в древостое.

В сосняках по обеим сторонам от ручья хвощовый слой торфа также сменяется древесно-травяным, в котором преобладают остатки сосны и вахты, также присутствует ольха, береза, хвощ, *Carex lasiocarpa*, сфагновые мхи (*Sphagnum centrale*, *S. girgensohnii* и др.). Таким образом, верхние 50 см торфа соответствуют современным соснякам.

Последний разрез на профиле заложен в сосново-кустарничково-травяно-сфагновом мезоолиготрофном сообществе, глубина торфяной залежи здесь максимальна и отражает большее число стадий развития. До глубины торфа 50 см растительность участка прошла те же стадии развития, что и на участках травяно-сфагновых сосняков, однако выше в торфе возрастает содержание олиготрофных сфагнов (*Sphagnum angustifolium*, *S. magellanicum*) и болотных кустарничков, степень разложения снижается до 15 %. Минеротрофные виды, за исключением *Carex lasiocarpa*, выпадают из состава.

Таким образом, болотообразовательные процессы в пойме р. Равдукорби начались с мелководной приозерной хвощовой стадии. Затем с ростом залежи, а возможно, и постепенным снижением уровня озера произошла смена сообществ: участки, находящиеся вблизи ручья и испытывающие значительные паводки, были заняты осоковыми и ивово-осоковыми сообществами, более отдаленные – покрылись лесом, хотя по-прежнему испытывают незначительное влияние поверхностных минерализованных вод. По их границе в месте умеренного влияния паводков сформировались березняки, напочвенный покров которых отражает смешанный (переходный) характер питания. Сообщества сосняков, полностью выходящие из-под влияния паводковых вод, переходят на олиготрофную стадию развития. Ряд участков по окраинам открытого массива также приближается к олиготрофной стадии, причем здесь почти не развивается древесный ярус, тогда как в напочвенном покрове на-

чинают доминировать кустарнички и сфагновые мхи.

Для оценки степени влияния паводков на болотную растительность представляется интересным провести сравнение исследованного массива с приводимой в литературе характеристикой болот стационара Киндасово, находящихся в сходных природных условиях, но не испытывающих подобного влияния. Болота в настоящий момент осушены, однако данные по растительности сохранились в отчете³. По составу растительности и истории развития между болотом Равдукорби и болотами стационара Киндасово имеются как сходства, так и различия. В районе Киндасово также отмечаются мелкозалежные как облесенные, так и открытые болота, среди первых обычны сосняки и березняки травяно-сфагновые. В их древостоях отсутствует ольха черная, состав травяно-кустарничкового яруса сходен, но здесь также выпадает ряд характерных для сообществ (в особенности березняков) у Равдукорби видов – *Carex aquatilis*, *Scutellaria galericulata*, *Iris pseud-acorus*. Различия в соотношении видов в моховом ярусе еще более значительны. Обычные для болотных березняков у Равдукорби доминанты встречаются здесь в примеси, тогда как основную роль играют *Sphagnum angustifolium* и *S. magellanicum*. Открытые болота на низких отметках отличаются существенно, в районе Киндасово они заняты осоково- (*Carex lasiocarpa*, *Carex limosa*) сфагновыми (*Sphagnum angustifolium*, *S. papillosum* и др.) сообществами. Таким образом, наблюдается нарастание отличий при движении от мезоолиготрофных сосняков сфагновых к открытым сообществам, связанное с отсутствием влияния паводковых вод. В торфяных залежах здесь отсутствует слой придонного хвощового торфа, и они целиком сложены осоковыми, древесно-осоковыми и осоково-сфагновыми торфами с *Carex lasiocarpa* в роли основного торфообразователя.

Другим интересным объектом для сравнения являются исследованные ранее [6] сезонно затопливаемые болота у оз. Падозеро, расположенного также в пределах Шуйской равнины, но в местах распространения карбонатных раннепротерозойских пород. Данное сравнение также показывает определенные сходства и отличия между сообществами. Ивово-осоковые сообщества, развивающиеся по берегам водотоков сравниваемых территорий, имеют высокое сходство, березняки у Падозера более богаты видами, заметную роль начинает играть *Sphagnum warnstorffii*. Низинные сосняки несут еще большие различия, в их напочвенном покрове, помимо *S. warnstorffii*, появляются евтрофные бриевые мхи. В данном случае, по мере смещения ведущей роли в питании от паводковых вод к грунтовым, происходит нарастание отличий в составе растительности. При снижении влияния минерализованных вод

в обоих случаях происходит развитие сходных мезоолиготрофных сосново-кустарничково-(травяно-)сфагновых сообществ. В отношении залежи также имеются значительные отличия. В районе Падозера она более глубокая, нижние слои сложены сапропелями, имеется чередование торфов, соответствующих открытым и облесенным болотам, что свидетельствует о более сложной динамике уровня режима в голоцене.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали ключевую роль Вагатозера в формировании облика болотной растительности болота Равдукорби. Степень воздействия паводковых вод является ведущим фактором в обеспечении разнообразия растительных сообществ исследованного болота. В соответствии с его градиентом на болоте

прослеживается последовательная смена растительных сообществ. Действие водоема на болото прослеживается на протяжении всей истории его развития. В целом растительность болота Равдукорби значительно отличается от растительности болот, развивающихся в сходных природных условиях при отсутствии фактора влияния паводковых вод, и сходна с пойменными болотами в несколько иных геологических условиях. В последнем случае, однако, наблюдается увеличение различий между сообществами по мере снижения роли паводковых вод в питании сообществ.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам Лаборатории болотных экосистем Института биологии КарНЦ РАН Е. Л. Талбонен и Н. В. Стойкиной за проведение ботанического анализа образцов торфа.

* Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания (Тема № 0221-2014-0007).

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Воды озерно-речных систем и водохранилищ южной Карелии в связи с их хозяйственным использованием (бассейн р. Шуи). Ч. I–II: Научный отчет / Отдел гидрологии и водного хозяйства. Архив Карельского филиала АН СССР. Ф. 2. Оп. № 86. Ед. хр. № 111. Петрозаводск, 1963. 384 л.

² Номенклатура сосудистых растений дается по С. К. Черепанову [10], листостебельных мхов – по М. С. Ignatov et al. [12].

³ Комплексное изучение болот и заболоченных земель Карелии как научная основа эффективности освоения мелиоративного фонда. Т. II. Раздел: Фитоценологические и почвенные условия территории стационара «Киндасово» (Южная Карелия): Отчет (заключительный) / Институт биологии. № ГР 74063353; Инв. № Б487870. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1976. 125 л.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидов И. Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 171–178.
2. Елина Г. А. Типы болот Шуйской равнины // Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1977. С. 5–19.
3. Елина Г. А. Принципы и методы реконструкции и картирования растительности голоцена. Л.: Наука, 1981. 159 с.
4. Елина Г. А., Лак Г. Ц. Развитие болот и лесов Шуйской равнины в голоцене // Болота Европейского Севера СССР. Структура, генезис, динамика. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1980. С. 185–230.
5. Кутенков С. А. Классификация болотных лесов среднетаежной подзоны Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. Вып. 8. Биоразнообразие, динамика и ресурсы болотных экосистем Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. С. 47–64.
6. Кутенков С. А., Миронов В. Л. Особенности динамики приозерных болот у оз. Нижнее Падозеро (Южная Карелия) в голоцене // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1(5). С. 1300–1303.
7. Кучеров И. Б., Кутенков С. А. Травяно-сфагновые сосняки средней и северной тайги Европейской России // Ботанический журнал. 2011. Т. 96. № 6. С. 738–768.
8. Миронов В. Л. Разнообразие приозерных болот Карелии // Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Четвертого Международного полевого симпозиума (Новосибирск, 4–17 августа 2014). Томск: Изд-во Томского ун-та, 2014. С. 83–85.
9. Озера Карелии: Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.
10. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и Семья, 1995. 991 с.
11. Hill M. O. DECORANA – a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Ithaca, NY: Ecology and Systematics, Cornell University, 1979. 30 p.
12. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. et al. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. № 15. P. 1–130.

Kutenkov S. A., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)
Mironov V. L., Institute of Biology, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

PLANT COMMUNITIES AND PEAT DEPOSIT PECULIARITIES OF RAVDUKORBI FLOODPLAIN MIRE

The Ravdukorbi mire, located along the creek of the same name, is adjacent to Vagatozero, the reach on the Shuya river. The mire is influenced by the regular flooding during spring floods due to the hydrological regime of the lake and the flat nature of the surrounding terrain. The studies conducted in 2013 revealed zonation patterns in the organization of vegetation dependent on the distance from the creek. The following sequence in community changes is described: open sedge-Comarum and willow-Comarum communities; herb-dwarf-shrub-sphagnum community with sparse birch stands; birch swamp; pine herb-sphagnum mire; pine-dwarf-shrub-sphagnum mesooligotrophic community. The DCA-ordination of the plots confirmed the main role of the floodplain-alluvial gradient in the organization of mire vegetation. The average peat deposit depth is 100 cm; the largest depth of 135 cm is achieved on the mesooligotrophic site. The peats of eutrophic type are highly decomposed with mineral sediments. The lake impact on the mire is traced during the whole history of its formation; most of the deposits correspond to the present community composition. The vegetation of the sites, which is slightly or not influenced by the flood water transforms to oligotrophic stage of development.

Key words: plant communities, floodplain-alluvial regime, floodplain mires, DCA-ordination, stratigraphy of peat deposit, Shuiskaya lowland, forested mires

REFERENCES

1. Demidov I. N. On the maximal stage of periglacial lake Onega development, changes in its level and glacioisostatic lifting of coastal lines in the Late Glacial times [O maksimal'noy stadii razvitiya Onezhskogo prilivnikovogo ozera, izmeneniyyakh ego urovnya i glyatsioizostaticheskom podnyatii poberezhnykh v pozdnelednikov'e]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii*. Vol. 9. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2006. P. 171–178.
2. Elina G. A. The mire types of Shuiskaya lowland [Tipy bolot Shuyskoy ravniny]. *Statsionarnoe izuchenie bolot i zabolochenyykh lesov v svyazi s melioratsiyey*. Petrozavodsk, Karel'skiy filial AN SSSR Publ., 1977. P. 5–19.
3. Elina G. A. *Printsipy i metody rekonstruktsii i kartirovaniya rastitel'nosti golotsena* [Principles and methods of reconstruction and mapping of Holocene vegetation]. Leningrad, Nauka Publ., 1981. 159 p.
4. Elina G. A., Lak G. Ts. The development of mires and forests of Shuiskaya lowland in Holocene [Razvitie bolot i lesov Shuyskoy ravniny v golotsene]. *Bolota Evropeyskogo Severa SSSR. Struktura, genezis, dinamika*. Petrozavodsk, Karel'skiy filial AN SSSR Publ., 1980. P. 185–230.
5. Kutenkov S. A. Classification of forested mires in middle taiga subzone of Karelia [Klassifikatsiya bolotnykh lesov srednetazhnoy podzony Karelii]. *Trudy KarNTs RAN* [Proceedings of Karelian RC RAS]. Vol. 9. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2005. P. 47–64.
6. Kutenkov S. A., Mironov V. L. Features of the dynamics of limnogenous mire near Nizhnee Padozero lake (South Karelia) in Holocene [Osobennosti dinamiki priozernykh bolot u oz. Nizhnee Padozero (Yuzhnaya Kareliya) v golotsene]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2012. Vol. 14. № 1 (5). P. 1300–1303.
7. Kucherov I. B., Kutenkov S. A. Grass-peatmoss pine forests of northern and middle taiga of European Russia [Travyano-sfagnovyye sosnyaki sredney i severnoy taygi Evropeyskoy Rossii]. *Botanicheskiy zhurnal*. 2011. Vol. 96. № 6. P. 738–768.
8. Mironov V. L. Diversity of limnogenous mires of Karelia [Raznoobrazie priozernykh bolot Karelii]. *Torfyaniki Zapadnoy Sibiri i tsikl ugleroda: proshloe i nastoyashchee: Materialy Chetvertogo Mezhdunarodnogo polevogo simpoziuma (Novosibirsk, 4–17 avgusta 2014)*. Tomsk, Tomsk university Publ., 2014. P. 83–85.
9. *Ozera Karelii: Spravochnik* [Lakes of Karelia. Reference book] / Eds.: N. N. Filatov, V. I. Kukharev. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2013. 464 p.
10. Cherepanov S. K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular Plants of Russia and Adjacent States (the former USSR)]. St. Petersburg, Mir i Sem'ya Publ., 1995. 991 p.
11. Hill M. O. DECORANA – a FORTRAN program for detrended correspondence analysis and reciprocal averaging. Ithaca, NY: Ecology and Systematics, Cornell University, 1979. 30 p.
12. Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. et al. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*. 2006. № 15. P. 1–130.

Поступила в редакцию 17.04.2015

АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ МЕЛЕХИН

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории флоры и растительных ресурсов Полярно-альпийского ботанического сада-института, Кольский НЦ РАН (Кировск, Российская Федерация)
melihen@yandex.ru

НАХОДКИ РЕДКИХ И НОВЫХ ДЛЯ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ ЛИШАЙНИКОВ*

Представлены находки пяти новых для Мурманской области видов: *Farnoldia micropsis* (A. Massal.) Hertel, *Lecanora populicola* (D C.) Duby, *Micarea lithinella* (Nyl.) Hedl., *Rhizocarpon intermediellum* Räsänen, *Sarcogyne regularis* Korb. Приводятся новые данные о распространении видов, занесенных в Красную книгу региона: *Arthonia patellulata* Nyl., *Evernia divaricata* (L.) Ach., *Peltigera lyngei* Gyeln., *Ramalina obtusata* (Arnold) Bitter.

Ключевые слова: лишайники, новые находки, редкие виды

ВВЕДЕНИЕ

В результате обработки материалов, собранных в различных экспедициях по Мурманской области в 2005–2014 годах, было выявлено 5 новых для региона видов лишайников. Большое внимание в последнее время уделялось поиску внесенных в Красные книги Мурманской области [1], [2] обычно редких в регионе видов. Большая часть новых данных о распространении редких лишайников вошла в Красную книгу Мурманской области [2], изданную в 2014 году. Однако уже после верстки книги было выявлено еще несколько местонахождений охраняемых видов, приведенных ниже.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Весь материал был собран автором маршрутным способом и определен традиционными методами на оборудовании лаборатории флоры и растительности ПАБСИ. Все образцы инсерированы в гербарии лишайников ПАБСИ КНЦ РАН (КРАВГ). Названия видов даются по Santesson's list... [5]. Распространение в России дается по Списку видов лишайнофлоры России [3], в мире – по Global Biodiversity Information Facility [4]. Координаты приводятся в системе WGS84 с точностью до 100 м. В начале каждой аннотации дается буквенное обозначение, соответствующее району работ на рисунке.

РЕЗУЛЬТАТЫ

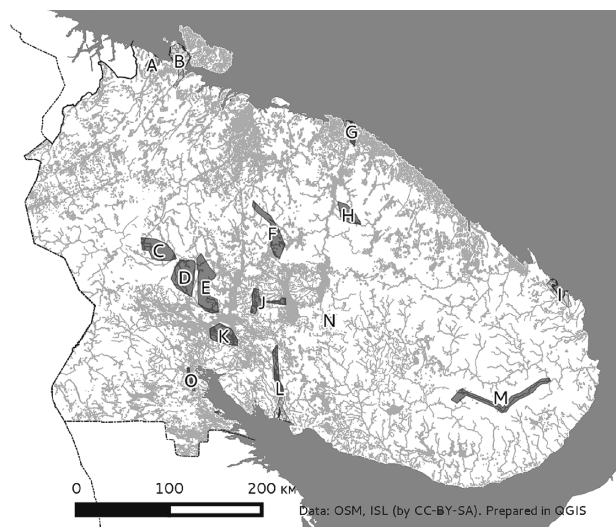
Новые виды для Мурманской области

Farnoldia micropsis (A. Massal.) Hertel: В – 69°47'34.26" с. ш., 31°56'20.328" в. д., 10 м над ур. м., п-ов Средний, тундра, берег р. Выкат, на кальцийсодержащем камне, 04.07.2014 (КРАВГ(L)-11975). В России известен для Европейской Арктики, Арктической Сибири и Арктического Дальнего Востока. Распространен в Евро-

пе, в том числе в Фенноскандии и на архипелаге Шпицберген.

Lecanora populicola (D C.) Duby: L – 66°40'36.48" с. ш., 34°18'39.276" в. д., 20 м над ур. м., берег эстуария р. Умба, южный склон, осинник, ствол осины, на коре, 29.06.2012 (КРАВГ(L)-11284). Широко распространен по всей России, кроме арктических участков. Широко распространен по всей Европе, в том числе в Фенноскандии, отмечен в Северной Америке.

Micarea lithinella (Nyl.) Hedl.: F – 68°11'41.28" с. ш., 34°4'7.68" в. д., 320 м над ур. м., хр. Киц-



Районы сбора материала: А – район поселка Лиинахамари. В – п-ов Средний. С – хр. Сальные тундры. D – хр. Нявка-тундра. Е – хр. Волчьи тундры, Монче-тундра и Чуна-тундра. F – хр. Кицкие тундры. G – устьевая часть р. Воронья. Н – хр. Оленьи и Вороньи тундры. I – побережье Лумбовского залива. J – обследованные участки горного массива Хибины. K – район ст. Африканда. L – бассейн р. Умба. M – бассейн р. Пурнач. N – г. Каменник. O – обследованные участки по трассе Мурманск – Санкт-Петербург

кие тундры, склон горы, березовое криволесье с елью, глыба на дне пещеры в скале, на камне в условиях низкой освещенности, 29.07.2012, Боровичев Е. А. (КРАБГ(L)-11429). В России известен для Севера Европейской России. Распространен в Европе, в том числе в Фенноскандии, отмечен в Северной Америке.

Rhizocarpon intermediellum Räsänen: В – 69°44'34.462" с. ш., 32°1'20.6" в. д., п-ов Средний, осыпь на склоне горы, тундра, на камне, 03.07.2014 (КРАБГ(L)-11978). В России известен для Арктической Сибири и Севера Дальнего Востока. Распространен в Европе, в том числе в Фенноскандии и на архипелаге Шпицберген, в Северной Америке, Гренландии.

Sarcogyne regularis Korb.: К – 67°25'55.412" с. ш., 32°45'16.726" в. д., окрестности станции Африканда, скала, на кальцийсодержащем камне, 25.07.2010 (КРАБГ(L)-11469). Широко представлен по всей России, кроме арктических участков. В мире широко распространенный, космополитный вид.

Не вошедшие в Красную книгу Мурманской области [2] находки охраняемых видов

Arthonia patellulata Nyl.: L – 66°51'2.484" с. ш., 34°12'6.192" в. д., 49 м над ур. м., левый берег р. Низьма, еловый лес с осинкой, ствол осины, на коре, 06.06.2014 (КРАБГ(L)-11850).

Evernia divaricata (L.) Ach.: L – 66°51'2.484" с. ш., 34°12'6.192" в. д., 49 м над ур. м., левый берег р. Низьма, еловый лес с осинкой, еловая ветвь, на коре, 06.06.2014 (КРАБГ(L)-11844).

Peltigera lyngei Gyeln.: В – 69°48'3.672" с. ш., 31°53'46.572" в. д., 30 м над ур. м., п-ов Средний, склон горы, стена скалы в 150 м от моря, березовое криволесье, куртина моховая на глыбе скалы, на мхах, 04.07.2014 (КРАБГ(L)-11697).

Ramalina obtusata (Arnold) Bitter: L – 66°51'2.484" с. ш., 34°12'6.192" в. д., 49 м над ур. м., левый берег р. Низьма, еловый лес с осинкой, еловая ветвь, на коре, 06.06.2014 (КРАБГ(L)-11855).

Выражаю благодарность Е. А. Боровичеву за предоставленный образец *Micarea lithinella*.

* Работа частично поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (15-29-02662).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красная книга Мурманской области / Правительство Мурман. обл., Упр. природ. ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Мурман. обл.; Науч. ред. Н. А. Константинова и др. Мурманск: Мурман. обл. кн. изд-во, 2003. 400 с.
2. Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Отв. ред. Н. А. Константинова и др. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.
3. Урбанавичус Г. П. Список видов лишайнофлоры России. СПб., 2010. 194 с.
4. Global Biodiversity Information Facility. Available at: <http://gbif.org>
5. Nordin A., Moberg R., Tønnsberg T., Vitikainen O., Dalsätt Å., Myrdal M., Snitting D. & Ekman S. Santesson's checklist of Fennoscandian lichen-forming and lichenicolous fungi. Museum of Evolution. Uppsala University. Available at: <http://130.238.83.220/santesson/home.php>

Melekhin A. V., Kola science center of RAS (Kirovsk, Russian Federation)

NEW AND RARE RECORDS OF LICHENS FOR MURMANSK REGION

Five lichen species are reported new for Murmansk region: *Farnoldia micropsis* (A. Massal.) Hertel, *Lecanora populicola* (D C.) Duby, *Micarea lithinella* (Nyl.) Hedl., *Rhizocarpon intermediellum* Räsänen, *Sarcogyne regularis* Korb. A new habitat of four rare species was found: *Arthonia patellulata* Nyl., *Evernia divaricata* (L.) Ach., *Peltigera lyngei* Gyeln., *Ramalina obtusata* (Arnold) Bitter.

Key words: lichens, new records, rare species

REFERENCES

1. *Krasnaya kniga Murmanskoy oblasti* [Red Data Book of the Murmansk region] / Government of the Murmansk region Ministry of Nature resources and environment of the Murmansk region, Editors N. A. Konstantinova et al. Murmansk, Murm. kn. izd-vo Publ., 2003. 400 p.
2. *Krasnaya kniga Murmanskoy oblasti* [Red Data Book of the Murmansk region]. Edition 2 / Editors N. A. Konstantinova et al. Kemerovo, Aziya-print Publ., 2014. 584 p.
3. Urbanavichyus G. P. *Spisok vidov likhenoflory Rossii* [A checklist of the lichen flora of Russia]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2010. 194 p.
4. Global Biodiversity Information Facility. Available at: <http://gbif.org>
5. Nordin A., Moberg R., Tønnsberg T., Vitikainen O., Dalsätt Å., Myrdal M., Snitting D. & Ekman S. Santesson's checklist of Fennoscandian lichen-forming and lichenicolous fungi. Museum of Evolution. Uppsala University. Available at: <http://130.238.83.220/santesson/home.php>

Поступила в редакцию 18.05.2015

АННА ИВАНОВНА ФОКИНА

кандидат биологических наук, доцент кафедры химии Института естественных наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Российская Федерация)
annushka-fokina@mail.ru

АННА СЕРГЕЕВНА ОЛЬКОВА

кандидат технических наук, доцент кафедры экологии Института естественных наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Российская Федерация)
morgan-abend@mail.ru

ЕКАТЕРИНА ИГОРЕВНА ЛЯЛИНА

ассистент кафедры химии, аспирант Института естественных наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Российская Федерация)
lyalina.ekaterina@inbox.ru

ЛАРИСА ВЯЧЕСЛАВОВНА ДАРОВСКИХ

кандидат педагогических наук, доцент кафедры экологии Института естественных наук, Вятский государственный гуманитарный университет (Киров, Российская Федерация)
larisa.darovskich@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ БИОАККУМУЛЯЦИИ МЕДИ ПРЕДСТАВИТЕЛЯМИ АВТОТРОФНЫХ И ГЕТЕРОТРОФНЫХ ОРГАНИЗМОВ*

Предложена методика инверсионного вольтамперометрического определения содержания меди в цианобактериях и дафниях. С ее помощью установлено, что чем продолжительнее экспозиция культуры цианобактерий с раствором сульфата меди (II), тем больше меди концентрируется на поверхности клеток. Практически полное извлечение ионов меди Cu^{2+} из раствора за 14 суток говорит о том, что культура может быть пригодна для разработки биосорбента. С увеличением доли глутатиона в растворе увеличивается накопление ионов меди Cu^{2+} цианобактериями, а дафниями уменьшается, что отражается на результатах биотестирования, проводимого с использованием данных организмов. Острой токсичностью по отношению к дафниям обладают растворы с минимальным, а для цианобактерий – растворы с максимальным содержанием глутатиона.

Ключевые слова: биоаккумуляция, медь, цианобактерии, дафнии, тест-организмы

Аккумулировать металлы способны практически все живые организмы. В ряде случаев металлы могут накапливаться организмами в значительных количествах [1], [4], [6], [13], [22]. Научно-практическая значимость исследования аккумуляции металлов организмами отмечена многими авторами [2], [3], [5], [11], [17], [18], [19], [21], [25], [26], [27], [28]. Научные данные о накоплении тяжелых металлов (ТМ) различными организмами и их адаптации к такой нагрузке служат фундаментальной основой, необходимой для интерпретации результатов биотестирования. Исследование механизмов и закономерностей биоаккумуляции металлов позволяет оценивать качество окружающей среды, находить чувствительных организмов-биоиндикаторов, разрабатывать биологические способы очистки сред от ТМ.

Целью работы было исследование биоаккумуляции меди автотрофными (*Nostoc linckia*) и гетеротрофными (*Daphnia magna*) организмами и применение полученных результатов в ин-

терпретации данных биотестирования и поиске нового биосорбента.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследуемыми организмами были культуры *Nostoc linckia* (Roth.) Born. et Flah № 271 из коллекции кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятской государственной сельскохозяйственной академии (г. Киров) и *Daphnia magna* Straus, культивируемые в аккредитованной экоаналитической лаборатории Вятского государственного гуманитарного университета (г. Киров). В экспериментах с *N. linckia* использовали суспензию цианобактерий с титром $1,16 \cdot 10^8$ кл/см³. Опыты с *D. magna* проводили по общепринятой методике: посадка 10 особей рачков (возраст не более 24 ч.) в 100 см³ тестируемой среды.

Выявление возможности использования микроорганизмов в качестве биосорбента Cu^{2+} . Исследовали зависимость между накоплением меди культурой ЦБ и продолжительностью контакта организмов с раствором соли металла. Суспен-

зию культуры вносили в раствор CuSO_4 с концентрацией ионов меди Cu^{2+} 2 и 20 мг/дм³. Через 1 и 14 суток выделяли ионы меди Cu^{2+} , сорбированные на поверхности клеток (десорбция раствором ЭДТА с поверхности клеток), поглощенные внутрь клетки и удерживаемые лиофильными компонентами (экстракция этанолом) и лиофобными веществами (экстракция четыреххлористым углеродом (ЧХУ)).

Исследование влияния восстановленного глутатиона на токсичность раствора CuSO_4 и накопление меди ЦБ и дафниями. Брали три типа растворов сульфата меди (с содержанием меди 1 мг/дм³) в смеси с глутатионом (GSH) в мольных соотношениях Cu:GSH, равных 1:0, 1:1 и 1:4. Токсичность растворов по отношению к ЦБ исследовали биолюминесцентным и тетразолю-топографическим методами [7], [8]. При биотестировании с использованием дафний руководствовались методикой, основанной на определении смертности и изменении плодовитости рачков [20].

Содержание меди в организмах после их экспозиции в различных средах определяли методом инверсионного вольтамперометрического анализа (ИВА) с помощью адаптированной нами методики определения меди на приборе марки «Эко-тест-ВА» с дисковым вращающимся электродом.

Для определения металла в биомассе организмов последние отделяли от тестируемой среды: цианобактерий – центрифугированием, дафний – отлавливанием на специальный сачок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Адаптация метода ИВА для определения меди в цианобактериях и дафниях. Вследствие маленькой биомассы тест-организмов и небольшого в соответствии с этим содержания накопленного металла, метод определения меди должен обладать высокой чувствительностью. Таким методом является ИВА, но аттестованной методики определения меди в изучаемых нами организмах нет. За основу взята методика определения металла в природных водах [15]. Разделение соединений меди, в состав которых входит накапливаемый организмом металл, на фракции проводили по методике, предложенной С. Г. Васильевой [3]. В дафниях определяли общее содержание ме-

талла, не разделяя на фракции. Этап пробоподготовки фракций ЦБ и биомассы дафний (минерализация до влажных солей), предложенный разработчиком методики, усовершенствовали добавлением концентрированного раствора H_2O_2 , что позволило ускорить данный этап работы.

Применимость методики определения меди в цианобактериях и дафниях проверили методом «введено-найденно» (табл. 1 и 2). Добавку вносили в пробу перед минерализацией [14].

Таблица 1
Проверка правильности количественного определения меди во фракциях цианобактерий *Nostoc linckia* 271

Фракция	Введено, мкг/дм ³	Найдено, мкг/дм ³
Экстракт ЭДТА	60,0	70,0 ± 21,0
Леофильная фракция	10,0	9,3 ± 2,8
Леофобная фракция	4	3,6 ± 1,1

Примечание. Количество введенной добавки брали, исходя из количества меди, определенного в каждой фракции ЦБ.

Таблица 2
Проверка правильности количественного определения меди в биомассе рачков *D. magna*

Введено Cu^{2+} , мкг/дм ³	Найдено Cu^{2+} , мкг/дм ³
10	9,4 ± 2,9

Примечание. Количество введенной добавки брали, исходя из количества меди, определенного в дафниях.

Полученные данные свидетельствуют о возможности применения методики для определения меди в исследуемых объектах.

Выявление возможности использования ЦБ в качестве биосорбента ионов меди Cu^{2+} . Результаты определения содержания меди (II) в различных фракциях ЦБ после экспозиции организмов с медьсодержащими растворами представлены в табл. 3.

Ионы меди Cu^{2+} обнаружены в леофильной фракции уже через сутки, причем в большем количестве там, где концентрация металла в растворе была выше. Это может быть связано как с поступлением металла в клетку по градиенту концентраций, так и с нарушением токсикологических барьеров вследствие токсического эффекта меди. Концентрация Cu^{2+} в леофобной

Таблица 3
Содержание меди во фракциях ЦБ после экспозиции культуры с растворами сульфата меди в течение 1 и 14 суток ($\text{X} \cdot 10^{-3}$, мг/г ЦБ) и суммарная степень извлечения металла из раствора (%)

Концентрация ионов меди, мг/дм ³	Через 1 сутки				Через 14 суток			
	Спирт	ЧХУ	ЭДТА	Степень извлечения	Спирт	ЧХУ	ЭДТА	Степень извлечения
2	2,56 ± 0,13	1,05 ± 0,05	4,18 ± 0,21	1,52 ± 0,07	<<	1,47 ± 0,03	7,84 ± 0,39	1,82 ± 0,08
20	17,23 ± 0,86	2,51 ± 0,13	94,0 ± 4,7	21,87 ± 1,09	0,94 ± 0,08	2,83 ± 0,14	520,0 ± 5,1	100 ± 5

Примечание. «<<» – меньше предела обнаружения.

фракции в течение 14 суток практически не изменяется. К концу опыта резко уменьшается содержание металла в лиофильной фракции, а возрастает в той ее части, которая выделяется с поверхности клеток раствором ЭДТА. Это может указывать на выведение ионов из внутриклеточного пространства и накопление их на поверхности клеток. Это один из признаков адаптации культуры к негативному воздействию ионов меди: идет активный транспорт токсиканта из клетки.

Значения степеней извлечения меди из раствора в варианте с концентрацией ионов меди Cu^{2+} 20 мг/дм³ возрастают от 21 % в течение суток и до 100 % в течение двух недель. Такие результаты говорят о высоком сорбционном потенциале культуры *Nostoc linckia* 271, что, несомненно, указывает на возможность ее применения в качестве биосорбента. При создании технологической схемы очистки среды от Cu^{2+} или изготовления активной добавки следует учесть динамику содержания меди в различных фракциях клеток, так как Cu^{2+} удерживаются компонентами различных фракций с разной силой. Например, при определенных условиях перемешивания, уровне pH, нагревании может произойти десорбция.

Влияние восстановленного глутатиона на накопление Cu организмами. На процесс биоаккумуляции металлов влияют многие факторы. В первую очередь, имеет значение биологический вид организмов. Не менее важны концентрация металла в среде обитания, а также его химическая форма. Большинство металлов являются активными комплексообразователями и в окружающей среде могут присутствовать в комплексах с органическими компонентами. Эффективностью и емкостью связывания металлов организмами можно варьировать путем проведения реакций комплексообразования, в результате которых образующиеся соединения обладают новыми свойствами, способствующими поглощению металлов. Отмечено влияние комплексообразования на накопление металлов живыми организмами [9], [10], [23], [27]. Медь обладает высокой комплексообразующей способностью, поэтому токсический эффект зависит от наличия и концентрации потенциальных лигандов. В роли такого лиганда может выступать глутатион.

Глутатион (GSH) – это уникальный пептид, содержащийся в клетках не только всех эукариотических организмов, но и многих прокариотов. Это соединение является признанным биогенным протектором внутриклеточного действия [16]. В рамках исследования нами была поставлена практическая задача – оценить экзогенное влияние глутатиона как активного биолганда на биоаккумуляцию меди. Моделировали воздействие ионов меди в присутствии восстановленного глутатиона (GSH) на автотрофную культуру *N. linckia* и гетеротрофных *D. magna*.

При исследовании трех типов тестируемых сред, содержащих сульфат меди в смеси с глутатионом (GSH) в мольных соотношениях Cu:GSH, равных 1:0, 1:1 и 1:4 (содержание меди во всех вариантах 1 мг/дм³), выявлено, что глутатион увеличивает накопление меди в культуре ЦБ: чем выше доля глутатиона, тем больше меди обнаружено в клетках (рис. 1). В опыте с дафниями наблюдается тенденция к уменьшению содержания меди в организмах с увеличением доли глутатиона в тестируемом растворе (рис. 2).

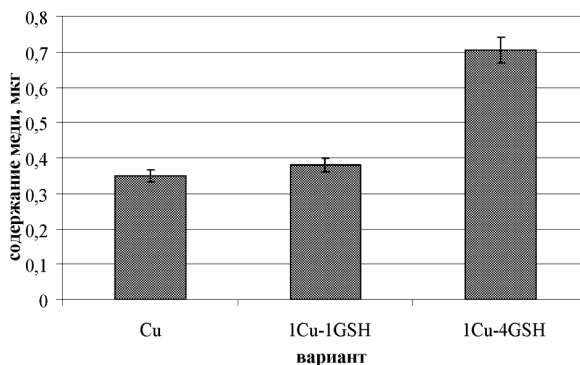


Рис. 1. Содержание меди в клетках *Nostoc linckia* 271. Варианты обозначены согласно соотношению Cu:GSH

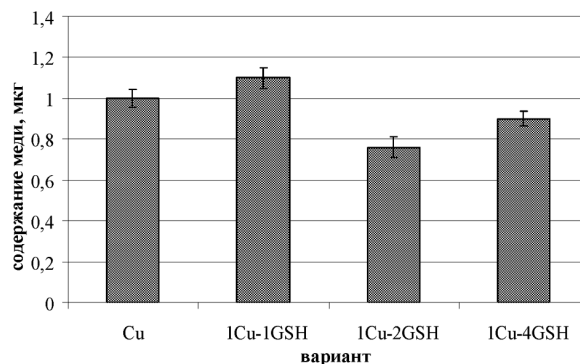


Рис. 2. Содержание меди в *Daphnia magna*. Варианты обозначены согласно соотношению Cu:GSH

Такие результаты объясняются тем, что клеточная мембрана ЦБ представляет собой бислой фосфолипидных молекул, ориентированных гидрофобными концами молекул внутрь бислоя, а гидрофильными наружу. Глутатион облегчает поступление в клетку меди за счет связывания ее ионов в прочный комплекс, который обладает липофильными свойствами и поэтому может быстро пересечь клеточную мембрану, в то время как сами ионы меди Cu^{2+} таким свойством не обладают.

Составляющей хитинового покрова *D. magna* является полисахарид хитозан, который содержит большое количество свободных аминогрупп, что позволяет ему связывать и прочно удерживать Cu^{2+} . Глутатион не только снижает активную концентрацию меди в растворе, но и уменьшает

ее количество на поверхности организмов, тем самым снижая накопление.

Установлено, что растворы с соотношением Cu:GSH 1:0 и 1:1 обладают острой токсичностью по отношению к дафниям, организмы погибли в течение первых суток экспозиции. Вариант 1:4 по показателям плодовитости и смертности приближается к контролю. В случае с ЦБ наблюдается сильная негативная взаимосвязь (коэффициент корреляции Пирсона составляет -0,8) между степенью накопления меди внутри клеток и жизнеспособностью культуры. Увеличение доли GSH в растворе приводит к увеличению накопления меди внутри клеток, уменьшению жизнеспособности, соответственно, результаты биотестирования с использованием ЦБ указывают на то, что растворы с большей добавкой глутатиона обладают большей токсичностью [12].

Таким образом, глутатион по отношению к дафниям обладает протекторным действием, а для ЦБ усиливает токсичность за счет усиления биодоступности меди. Явление усиления биодоступности может быть использовано для разработки цианобактериальных препаратов, насыщенных таким микроэлементом, как медь. Знания о биопротекторных свойствах позволяют разрабатывать системы защиты от медных загрязнений.

ВЫВОДЫ

1. Адаптирована методика определения содержания меди в природных водах методом инверсионной вольтамперометрии для определения указанного металла в биомассе цианобактерий и дафний.

2. Установлен высокий биоаккумуляционный потенциал цианобактерий *Nostoc linckia* по отношению к меди. Чем продолжительнее экспозиция культуры ЦБ с раствором сульфата меди, тем больше меди концентрируется на поверхности клеток. За 14 суток из раствора с концентрацией Cu^{2+} 20 мг/дм³ цианобактериальной суспензией было извлечено почти 100 % ионов металла. Это указывает на перспективность ЦБ *Nostoc linckia* как основы для создания биосорбента.

3. На примере модельных водных сред, содержащих сульфат меди (II), с разной добавкой глутатиона показано, что с увеличением доли биолиганда относительно концентрации металла накопление ионов меди цианобактериями увеличивается, а дафниями – уменьшается. Модельные водные среды с минимальным содержанием глутатиона обладали острой токсичностью по отношению к дафниям, а для цианобактерий, напротив, – токсичнее оказались растворы с максимальной долей глутатиона.

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-3964.2015.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богачева А. С. Чувствительность цианобактерий к токсическому действию солей тяжелых металлов: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. СПб., 2011. 24 с.
2. Ваганов А. С. Накопление тяжелых металлов тканями и органами промысловых видов рыб различных экологических групп Куйбышевского водохранилища: Дисс. ... канд. биол. наук. Ульяновск, 2012. 120 с.
3. Васильева С. Г. Накопление V, Li и Co клетками цианобактерии рода *Spirulina*: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 2012. 21 с.
4. Васильевская Н. В., Лукина Ю. М. Влияние техногенного загрязнения на динамику роста и мезоструктуру листьев *Betula czerepanovii* Orlova // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2011. № 8 (121). С. 14–18.
5. Голтвянский А. В. Биоаккумуляция ионов металлов клетками *Dunaliella viridis* Teod. (Chlorophyta) // Альгология. 1999. Т. 9. № 2. С. 33.
6. Голтвянский А. В. Биоаккумуляция ионов металлов клетками зеленых водорослей и получение биомассы, обогащенной микроэлементами: Дисс. ... канд. биол. наук. Харьков, 2002. 125 с.
7. Домрачева Л. И., Кондакова Л. В., Огородникова С. Ю., Олькова А. С., Фокина А. И. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязненных средах // Биологический мониторинг природно-техногенных систем. Сыктывкар, 2011. С. 113–120.
8. Домрачева Л. И., Фокина А. И., Огородникова С. Ю., Зыкова Ю. Н., Кондакова Л. В. Адаптационные реакции микроорганизмов на стрессовые воздействия // Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока. Киров, 2009. С. 180–232.
9. Душенков В., Раскин И. Фиторемедиация: зеленая революция: Доклад / Ратгерский университет. Нью-Джерси, 1999. С. 48–49.
10. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 151 с.
11. Карамушка В. И., Грузина Т. Г., Ульберг З. Р. Особенности биосорбции тяжелых металлов из смешанных растворов клетками *Spirulina platensis* // Коллоидный журнал. 1998. Т. 60. № 3. С. 327–330.
12. Лялина Е. И., Фокина А. И., Олькова А. С., Сивкова С. А., Катаргина В. С., Черезова К. О., Звoryгина В. С., Кузнецова Е. О. Отклик тест-организмов различной систематической принадлежности на действие ионов меди (II) в присутствии глутатиона // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров, 2014. С. 210–215.
13. Немова Н. Н., Богдан В. В., Шкляревич Г. А. Амфиоды как индикаторы характера воздействия антропогенных факторов на прибрежные акватории Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2012. № 4 (125). С. 7–12.
14. РМГ 76-2004 ГСИ. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа. М.: Стандартинформ, 2006. 81 с.

15. Сборник методик измерений массовой концентрации ионов меди, свинца, кадмия, цинка, висмута, марганца, никеля и кобальта методом вольтамперометрии на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА». М.: ООО «Эконикс-Эксперт», 2004. 61 с.
16. Смирнов Л. П., Суховская И. В. Роль глутатиона в функционировании систем антиоксидантной защиты и биотрансформации (обзор) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 6 (143). С. 34–40.
17. Фокина А. И. Влияние свинца на структуру фототрофных микробных комплексов почвы: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2008. 23 с.
18. Фокина А. И., Злобин С. С., Березин Г. И., Зыкова Ю. Н., Огородникова С. Ю., Домрачева Л. И., Ковина А. Л., Горностаева Е. А. Состояние цианобактерий *Nostoc paludosum* в условиях загрязнения среды никелем и нефтепродуктами и перспективы ее использования в качестве биосорбента // Теоретическая и прикладная экология. 2008. Т. 1. С. 4–10.
19. Фокина А. И., Домрачева Л. И., Зыкова Ю. Н., Березин Г. И., Злобин С. С. Микроорганизмы как биосорбенты поллютантов // Особенности урбоэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой. Киров: Изд-во ВятГГУ, 2012. С. 232–253.
20. 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.
21. Чубуков В. Ф. Микробы запасают металлы // Химия и Жизнь. 1982. № 11. С. 53–55.
22. Шашурина Е. А., Доронкин Ю. В., Лупова Е. И. Экологический мониторинг территорий и миграция цезия-137 в цепи почва – продукты пчеловодства // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2011. № 2 (115). С. 21–23.
23. Aristilde L., Xu Y., Morel F. Weak Organic Ligands Enhance Zinc Uptake in Marine Phytoplankton // Environ. Sci. Technol. 2012. № 46 (10). P. 5438–5445.
24. Gummuluru S., Krishnamurti R., Megharaj M., Naidu R. Bioavailability of Cadmium–Organic Complexes to Soil Alga—An Exception to the Free Ion Model // J. Agric. Food Chem. 2004. № 52 (12). P. 3894–3899.
25. Kayser G., Koeckritz T., Markert B. Bioleaching zur Reinigung schwermetallbelasteter Boden mit Thiobacillus spp. // Wasser und Boden. 2001. Vol. 53. № 1–2. P. 54–58.
26. Kumar N., Dushenkov V., Motto H., Raskin I. Phytoextraction: The Use of Plants To Remove Heavy Metals from Soils // Environ. Sci. Technol. 1995. № 29 (5). P. 1232–1238.
27. Ledin M., Krantz-Rulcker C., Allard B. Microorganisms as metal sorbents. Comparison with other soil constituents in multi-compartment systems // Soil Biol. and Biochem. 1999. Vol. 31. № 12. P. 1639–1648.
28. Quintelas C., Tavares T. Lead (II) and Iron (II) removal from aqueous solution: Biosorption by a bacterial biofilm // Resour. and Environ. Biotechnol. 2002. Vol. 3. № 4. P. 193–202.

Fokina A. I., Institute of Natural Sciences, Vyatka State University for the Humanities (Kirov, Russian Federation)
Ol'kova A. S., Institute of Natural Sciences, Vyatka State University for the Humanities (Kirov, Russian Federation)
Lyalina E. I., Institute of Natural Sciences, Vyatka State University for the Humanities (Kirov, Russian Federation)
Darovskikh L. V., Institute of Natural Sciences, Vyatka State University for the Humanities (Kirov, Russian Federation)

ON REGULARITIES OF COPPER BIO-ACCUMULATION BY REPRESENTATIVES OF AUTOTROPHIC AND HETEROTROPHIC ORGANISMS

The technique of inversion voltammetry aimed at the definition of the amount and content of copper in live organisms is improved. It was established that the longer was the exposition of cyanobacteria culture to copper sulfate solution the bigger was the amount of copper concentrated on the cells' surface. A practically total extraction of copper ions from the solution within 14 days demonstrated that the culture can be used for the new biosorbent development. It was revealed that with the increase of glutathione concentration in solution the accumulation of ions of heavy metals increases as well, and it decreases with the presence of water fleas. This in turn affects the results of biotesting solutions with the identical content of copper but various content of glutathione. The solutions with the minimum content of glutathione are acute toxic to water fleas and solutions with the maximum content are toxic to cyanobacteria. It indicates that organisms of various systematic accessory can react differently in the presence of toxicants.

Key words: bioaccumulation, copper, cyanobacteria, Daphnia, test organisms

REFERENCES

1. Bogacheva A. S. *Chuvstvitel'nost' tsianobakteriy k toksicheskomu deystviyu soley tyazhelykh metallov: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Sensitivity to the toxic effects of cyanobacteria salts of heavy metals]. St. Petersburg, 2011. 24 p.
2. Vaganov A. S. *Nakoplenie tyazhelykh metallov tkanyami i organami promyslovyykh vidov ryb razlichnykh ekologicheskikh grupp kuybyshevskogo vodokhranilishcha: Diss. ... kand. biol. nauk* [Accumulation of heavy metals material and organs of fish species of different ecological groups Kuibyshev reservoir]. Ulyanovsk, 2012. 120 p.
3. Vasil'eva S. G. *Nakoplenie V, Li i Co kletkami tsianobakteriy roda Spirulina: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Collect V, Li and Co cells cyanobacterium Spirulina genus]. Moscow, 2012. 21 p.
4. Vasilevskaya N. V., Lukina Yu. M. Influence of technogenic pollution on growth and leaf mesostructure Betula czerepanovii Orlova [Vliyaniye tekhnogennogo zagryazneniya na dinamiku rosta i mezostrukturu list'ev Betula czerepanovii Orlova]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2011. № 8 (121). P. 14–18.
5. Goltvyanskiy A. V. Bioaccumulation of metal ions cells Dunaliella viridis Teod. (Chlorophyta) [Bioakkumulyatsiya ionov metallov kletkami Dunaliella viridis Teod. (Chlorophyta)]. *Al'gologiya*. 1999. Vol. 9. № 2. P. 33.
6. Goltvyanskiy A. V. *Bioakkumulyatsiya ionov metallov kletkami zelenykh vodorosley i poluchenie biomassy, obogashchennoy mikroelementami: Diss. ... kand. biol. nauk* [Bioaccumulation of metal ions cells of green algae and biomass rich in trace elements]. Harkov, 2002. 125 p.

7. Domracheva L. I., Kondakova L. V., Ogorodnikova S. Yu., Ol'kova A. S., Fokina A. I. The use tetrazole-topographic method for determining the dehydrogenase activity of cyanobacteria in contaminated environments [Primenenie tetrazol'no-topograficheskogo metoda opredeleniya degidrogenaznoy aktivnosti tsianobakteriy v zagryaznennykh sredakh]. *Biologicheskii monitoring prirodno-tekhnogennykh sistem*. Syktyvkar, 2011. P. 113–120.
8. Domracheva L. I., Fokina A. I., Ogorodnikova S. Yu., Zykhova Yu. N., Kondakova L. V. Adaptable reactions to stressful effects of microorganisms [Adaptatsionnye reaktsii mikroorganizmov na stressovye vozdeystviya]. *Osobennosti urboekosistem podzony yuzhnoy taygi Evropeyskogo Severo-Vostoka*. Kirov, 2009. P. 180–232.
9. Dushenkov V., Raskin I. *Fitoremediatsiya: zelenaya revolyutsiya: Doklad* [Phytoremediation: green revolution: report]. New Jersey, 1999. P. 48–49.
10. Il'in V. B. *Tyazhelye metally v sisteme pochva – rastenie* [Heavy metals in the soil – plant system]. Novosibirsk, Nauka. Sib. otd-nie Publ., 1991. 151 p.
11. Karamushka V. I., Gruzina T. G., Ul'berg Z. R. Features biosorption of heavy metals from solutions of mixed cells of *Spirulina platensis* [Osobennosti biosorbtsii tyazhelykh metallov iz smeshannykh rastvorov kletkami *Spirulina platensis*]. *Kolloidnyy zhurnal*. 1998. Vol. 60. № 3. P. 327–330.
12. Lyalina E. I., Fokina A. I., Ol'kova A. S., Sivkova S. A., Katargina V. S., Cherezova K. O., Zvorygina V. S., Kuznetsova E. O. Response test organisms belonging to different taxonomic action copper ion (II) in the presence of glutathione [Otklik test-organizmov razlichnoy sistemacheskoy prikladnosti na deystvie ionov medi (II) v prisutstvii glutationa]. *Materialy XII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Issue 2. Kirov, 2014. P. 210–215.
13. Nemova N. N., Bogdan V. V., Shklyarevich G. A. Amphipods as indicators of the nature of anthropogenic impacts on coastal waters of the White Sea [Amfipody kak indikatory kharaktera vozdeystviya antropogennykh faktorov na pribrezhnye akvatorii Belogo morya]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2012. № 4 (125). P. 7–12.
14. RMG 76-2004 GSI. *Vnutrenniy kontrol' kachestva rezul'tatov kolichestvennogo khimicheskogo analiza* [Internal quality control of the results of quantitative chemical analysis]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 81 p.
15. *Sbornik metodik izmereniy massovoy kontsentratsii ionov medi, svintska, kadmiya, tsinka, vismuta, margantsa, nikelya i kobal'ta metodom vol' tamperometrii na vol' tamperometricheskom analizatore "Ekotest-VA"* [The collection of measurement techniques of mass concentration of ions of copper, lead, cadmium, zinc, bismuth, manganese, nickel and cobalt by voltammetry for voltammetric analyzer "Ecotest-VA"]. Moscow, OOO "Ekoniks-Ekspert" Publ., 2004. 61 p.
16. Smirnov L. P., Sukhovskaya I. V. The role of glutathione in the functioning of the antioxidant defense systems and biotransformation (Overview) [Rol' glutatona v funktsionirovaniy sistem antioksidantnoy zashchity i biotransformatsii (obzor)]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2014. № 6 (143). P. 34–41.
17. Fokina A. I. *Vliyaniye svintska na strukturu fototrofnyykh mikrobnyykh kompleksov pochvy: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* [Effect of lead on the structure of the soil microbial complexes fototrofnyyh]. Syktyvkar, 2008. 23 p.
18. Fokina A. I., Zlobin S. S., Berezin G. I., Zykhova Yu. N., Ogorodnikova S. Yu., Domracheva L. I., Kovina A. L., Gornostaeva E. A. The condition of cyanobacteria *Nostoc paludosum* under pollution by nickel and petroleum products and the prospects for its use as biosorbent [Sostoyaniye tsianobakteriy *Nostoc paludosum* v usloviyakh zagryazneniya sredey nikel'm i nefteproduktami i perspektivy ee ispol'zovaniya v kachestve biosorbenta]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2008. Vol. 1. P. 4–10.
19. Fokina A. I., Domracheva L. I., Zykhova Yu. N., Berezin G. I., Zlobin S. S. Microorganisms like biosorbents pollutants [Mikroorganizmy kak biosorbenty pollyutantov]. *Osobennosti urboekosistem podzony yuzhnoy taygi Evropeyskogo Severo-Vostoka* / Pod. red. T. Ya. Ashikhminoy, L. I. Domrachevoy. Kirov, Izd-vo VyatGGU, 2012. P. 232–253.
20. FR 1.39.2007.03222. *Metodika opredeleniya toksichnosti vody i vodnykh vytyazhek iz pochv, osadkov stochnykh vod, otkhodov po smertnosti i izmeneniyu plodovitosti dafniy* [FR 1.39.2007.03222. Methods of determining the toxicity of water and aqueous extracts from soils, sewage sludge, waste mortality and fertility change in Daphnia]. Moscow, Akvaros Publ., 2007. 48 p.
21. Chubukov V. F. Microbes stockpile metals [Mikroby zapasayut metally]. *Khimiya i Zhizn'*. 1982. № 11. P. 53–55.
22. Shashurina E. A., Doronkin Yu. V., Lupova E. I. Environmental monitoring areas and migration of cesium-137 in the chain soil – bee products [Ekologicheskii monitoring territoriy i migratsiya tseziya-137 v tsepi pochva – produkty pche-lovodstva]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2011. № 2 (115). P. 21–23.
23. Aristilde L., Xu Y., Morel F. Weak Organic Ligands Enhance Zinc Uptake in Marine Phytoplankton // *Environ. Sci. Technol.* 2012. № 46 (10). P. 5438–5445.
24. Gummuluru S., Krishnamurti R., Megharaj M., Naidu R. Bioavailability of Cadmium–Organic Complexes to Soil Alga—An Exception to the Free Ion Model // *J. Agric. Food Chem.* 2004. № 52 (12). P. 3894–3899.
25. Kayser G., Koeckritz T., Markert B. Bioleaching zur Reinigung schwermetallbelasteter Boden mit Thiobacillus spp. // *Wasser und Boden*. 2001. Vol. 53. № 1–2. P. 54–58.
26. Kumar N., Dushenkov V., Motto H., Raskin I. Phytoextraction: The Use of Plants To Remove Heavy Metals from Soils // *Environ. Sci. Technol.* 1995. № 29 (5). P. 1232–1238.
27. Ledin M., Krantz-Rulcker C., Allard B. Microorganisms as metal sorbents. Comparison with other soil constituents in multi-compartment systems // *Soil Biol. and Biochem.* 1999. Vol. 31. № 12. P. 1639–1648.
28. Quintelas C., Tavares T. Lead (II) and Iron (II) removal from aqueous solution: Biosorption by a bacterial biofilm // *Resour. and Environ. Biotechnol.* 2002. Vol. 3. № 4. P. 193–202.

Поступила в редакцию 18.03.2015

АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ БОЖЧЕНКО

доктор медицинских наук, доцент кафедры судебной медицины, Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова МО РФ (Санкт-Петербург, Российская Федерация)
Bozhchenko@mail.ru

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ РИГОНЕН

кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии, топографической анатомии и оперативной хирургии, патологической анатомии и судебной медицины Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
toxovo09@rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ ДЕРМАТОГЛИФИЧЕСКОЙ КОНСТИТУЦИИ РУССКИХ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Работа посвящена решению проблем стандартов дерматоглифической конституции жителей Республики Карелия, имеющих важное значение для решения диагностических и идентификационных задач в медицине и криминалистике, а также установлению факторов и закономерностей изменчивости морфометрических показателей основных типов кожных узоров дистальной фаланги пальцев кисти человека у жителей Республики Карелия.

Ключевые слова: дерматоглифика, кожные узоры, северный регион, идентификация

Население Республики Карелия включает коренных жителей и переселенцев из других районов. В литературе есть данные об особенностях генетической конституции населения, прибывшего из других регионов. Поэтому становится актуальным решение проблемы стандартов дерматоглифической конституции жителей Республики Карелия. Этнотерриториальные особенности важны для решения диагностических идентификационных задач в медицине и криминалистике [2], [5], [6]. Республика Карелия пока что малоизученный регион в этом плане [8]. Анатомическое описание конституции – это основополагающие знания [1], [3], [4], [7], [9], [10].

Дерматоглифические признаки – один из самых простых и доступных по изучению и использованию генетических маркеров. Они в значительной степени генетически детерминированы, развиваются из эктодермального и мезодермального эмбриональных зачатков, формируются на 3–5-м месяце внутриутробного развития, в дальнейшем не изменяются в онтогенезе, имеют структурное разнообразие и высокую индивидуальную и групповую изменчивость, являются наиболее информативными коррелятами фенотипических проявлений.

Для определения типов узоров на дистальных фалангах пальцев обычно используют классификацию Ф. Гальтона (1892) и некоторые узоры схемы Э. Генри (1934). Завиток (whorl, w) – самый сложный из пальцевых узоров. Петля (loop, L) – однодельтовый узор. Дуга (arch, A) – наиболее простой узор.

Целью нашего исследования является установление факторов и закономерностей изменчивости морфометрических показателей основных типов кожных узоров дистальной фаланги пальцев кисти человека у жителей Республики Карелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – фрагменты (выкопировки) дактилокарт (отпечатки гребешковой кожи дистальных фаланг пальцев рук).

В первую группу вошли 297 мужчин в возрасте от 17 до 25 лет – представители русского населения Центрального, Северо-Западного (кроме Республики Карелия), Южного и Приволжского федеральных округов.

Во вторую группу – 998 мужчин в возрасте от 17 до 25 лет – представители русского населения Северо-Западного федерального округа (Республика Карелия).

По состоянию здоровья все обследованные были относительно здоровы (без внешне заметных проявлений наследственной патологии).

Социальный статус: первая группа – разный, включая военнослужащих срочной службы, курсантов и студентов медицинского вуза. Вторая группа – призывники и студенты медицинского вуза.

Предмет исследования: региональные фенотипические особенности русских Республики Карелия.

Фенотипический маркер: дерматоглифические признаки (тип папиллярного узора, гребневый счет).

Классификация: классическая, пятиуровневая (дуговой, петлевой радиальный, петлевой ульнарный, переходный, завитковый типы узоров).

Условные обозначения: для типов узоров – классические, буквами латинского алфавита, согласно названию типов узоров на английском языке (дуговой – A, петлевой радиальный – Lr, петлевой ульнарный – Lu, переходный – Lw, завитковый – W); для номеров пальцев – классическая, дактилоскопическая (от 1 – большой палец правой руки до 10 – мизинец левой руки); для жителей Республики Карелия – K, для жителей других регионов – не-K.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Типы узоров

В общей выборке пальцев (без учета руки и пальца) у K достоверно ($p < 0,01$) чаще наблюдаются W, реже A. На уровне тенденции – реже Lr и Lw ($p < 0,32$). Нет существенных различий по L.

Таблица 1

Сравнительные данные основных статистических характеристик типов папиллярных узоров в выборках лиц мужского пола (по всем пальцам обеих рук)

ТУ	P ₁	P ₂	m ₁	m ₂	t _{1/2}
A	3,67	8,39	0,35	0,28	-10,65
Lr	4,75	5,56	0,39	0,23	-1,80
Lf	61,08	62,11	0,90	0,49	-1,02
Lw	2,56	3,08	0,29	0,17	-1,53
W	28,00	20,86	0,82	0,41	7,71

Примечание (здесь и далее). P – частота признака (%); m – средняя квадратичная ошибка частоты; t – критерий Стьюдента (различия статистически достоверны на уровне $p < 0,05$ при значении $t \geq 1,96$); 1 – выборка русских мужчин России без жителей Карелии (297 человек, 2970 папиллярных отпечатков); 2 – выборка русских мужчин Карелии (998 человек, 9980 папиллярных отпечатков).

В общей выборке пальцев у K достоверно чаще наблюдаются общие фенотипы AL, реже – LW, W. На уровне тенденции – чаще A, L, W ($p < 0,32$). Нет существенных различий по A, L.

Таблица 2

Сравнительные данные основных статистических характеристик общих фенотипов (согласно типам папиллярных узоров) в выборках лиц мужского пола (по всем пальцам обеих рук)

ТУ	P ₁	P ₂	m ₁	m ₂	t _{1/2}
A	0,68	0,30	0,48	0,17	-0,74
AL	7,09	19,90	1,49	1,26	6,53
ALW	11,50	14,80	1,85	1,13	1,55
L	16,20	13,20	2,14	1,07	-1,24
LW	60,80	50,60	2,84	1,58	-3,16
W	3,72	1,20	1,10	0,35	-2,18

С учетом номера пальца почти по всем пальцам чаще A. Причем вспышки экспрессивности A на 2, 3-м и 7, 8-м пальцах – как у K, так и у не-K. На большинстве пальцев различие у K и не-K достоверно.

С учетом номера пальца на большинстве пальцев, кроме 9-го и 10-го, чаще Lr. Причем вспышка экспрессивности Lr на 2-м и 7-м пальцах – как у K, так и у не-K. Достоверно чаще у K на 1-м и 6-м (в совокупности), на 2-м и 7-м (в совокупности) и на 3-м пальце.

Lu – самый частый тип узора. Более-менее часто наблюдается на всех пальцах. Некоторый подъем доли на 10, 8, 6-м и 6, 3, 1-м пальцах. На 2, 3 и 7-м достоверно чаще у не-K; на 4, 5-м и 9, 10-м – у K. У K достоверно реже на всех пальцах, кроме 3-го и 4-го. Вспышки экспрессивности совпадают – на 1, 4-м и 6, 9-м пальцах. У не-K – еще и на 7-м пальце.

Суммарная мера сложности типов узоров (сумма условной балльной оценки типов узоров от 1 – A до 5 – W) на правых и левых руках отличается в выборках K и не-K. Средние значения у K: на правой руке – 16,53; на левой – 15,72. У не-K – 17,61 и 17,02 соответственно. Различия достоверны и для правых рук ($t = -4,45$), и для левых ($t = -5,63$).

В каждой выборке (и у K, и у не-K) суммарная мера сложности узоров на правой руке больше, чем на левой. У K разность равна 0,82, у не-K – 0,60 ($t = 1,47$). Проявляется доминирование праворукости, причем чуть сильнее у K, но на уровне тенденции (надо увеличивать выборку либо применять иные, более чувствительные методы анализа, см. по ГС).

Коэффициент корреляции меры суммарной сложности узоров на правой и левой руках у K – 0,77, у не-K – 0,80. То есть у K несколько больше выражена асимметричность (несходство).

ДИ = 11,56 – у K; 12,68 – у не-K. Ошибка – 0,11 и 0,19; $t = -5,05$.

Гребневый счет (наибольший, если речь идет о двухдельтовых узорах)

В общей выборке пальцев (без учета руки и пальца) и типов узоров (без учета типа узора) у K достоверно ($p < 0,01$) чаще наблюдаются папиллярные узоры с меньшим гребневым счетом, чем у не-K (исключение – 1-е пальцы, где, однако, отмечается тенденция той же закономерности). Разница между средними арифметическими значениями составляет от 0,69 до 1,76.

С учетом типов узоров результаты меняются. Так, если не учитывать узоры с нулевым счетом, то разница уменьшается до сохранения только тенденции указанной выше закономерности на некоторых пальцах (на тех, где дуги часты, она исчезла полностью), что свидетельствует о том, что основной вклад привнесен дугowymi узорами, имеющими нулевой ГС.

Разница между средними арифметическими значениями составляет от 0,16 до 0,84.

Общий гребневый счет (ОГС), здесь и далее с учетом дуг, на правых и левых руках отличается в выборках у K и не-K. Средние значения у K: на правой руке – 65,09; на левой – 62,18. У не-K

Таблица 3

Сравнительные данные основных статистических характеристик гребневого счета папиллярных узоров в выборках лиц мужского пола (по всем пальцам обеих рук)

ГС	M ₁	M ₂	m ₁	m ₂	t _{1/2}
1	18,28	17,59	0,46	0,18	1,40
2	11,79	10,46	0,53	0,21	2,33
3	12,25	10,88	0,47	0,19	2,72
4	15,66	14,12	0,47	0,18	3,03
5	13,33	12,04	0,42	0,16	2,86
6	15,85	14,68	0,48	0,18	2,28
7	11,41	9,99	0,52	0,20	2,56
8	12,67	10,98	0,47	0,19	3,31
9	16,04	14,28	0,46	0,17	3,58
10	13,47	12,24	0,42	0,16	2,74

Примечание (здесь и далее). М – среднее арифметическое.

– 71,31 и 69,45 соответственно. Различия достоверны и для правых рук ($t = 3,45$), и для левых ($t = 4,09$).

В каждой выборке (и у К, и у не-К) ОГС узоров на правой руке больше, чем на левой. У К разность равна 2,91, у не-К – 1,86 ($t = -1,43$). Проявление доминирования праворукости достоверно только у К ($t = -2,98$), у не-К $t = -0,66$, то есть сильнее у К (в отличие от типов узоров).

Коэффициент корреляции меры ОГС узоров на правой и левой руках у К – 0,91, у не-К – 0,94, то есть у К несколько больше асимметричность (несходство).

ОГС = 127,27 у К; 140,76 у не-К (на 13,5 единицы больше). Ошибка – 1,39 и 3,90; $t = 3,85$.

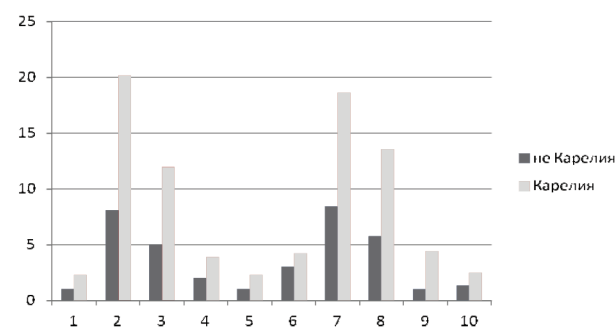


Рис. 1. Популяционные колебания доли дуговых узоров

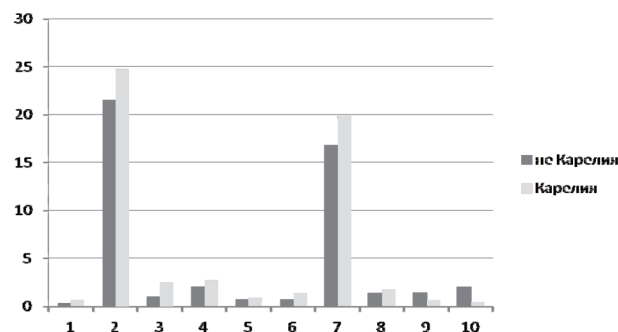


Рис. 2. Популяционные колебания доли петлевых радиальных узоров

Таблица 4

Сравнительные данные основных статистических характеристик гребневого счета папиллярных узоров в выборках лиц мужского пола (по пальцам обеих рук без дуговых узоров)

ГС	M ₁	M ₂	m ₁	m ₂	t _{1/2}
1	19,35	19,18	0,48	0,18	0,32
2	13,51	13,67	0,55	0,19	-0,27
3	13,63	13,45	0,51	0,16	0,34
4	16,60	15,97	0,51	0,16	1,17
5	14,36	13,52	0,46	0,18	1,70
6	17,11	16,35	0,48	0,18	1,48
7	13,32	12,91	0,54	0,18	0,72
8	14,21	13,60	0,50	0,16	1,17
9	16,78	16,01	0,50	0,16	1,47
10	14,43	13,63	0,46	0,16	1,62

ВЫВОДЫ

1. У карел имеются отличительные особенности: достоверно чаще встречается А, Lr, реже W, соответственно, более низкие значения гребневого счета.
2. В целом области всплеск экспрессивности (пальцы с повышенной частотой встречаемости признаков) совпадают, что свидетельствует о более сильном влиянии на это закономерностей лучевого расчленения.
3. Совпадает и билатеральная асимметрия с доминированием правой руки (по степени сложности типа узоров и общему гребневому счету). Возможно, это является маркером доминирующей руки. Можно ожидать, что у левшей (врожденных) все будет наоборот.

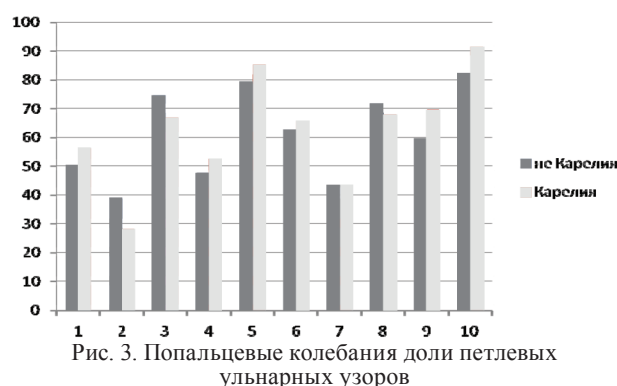


Рис. 3. Популяционные колебания доли петлевых ульнарных узоров

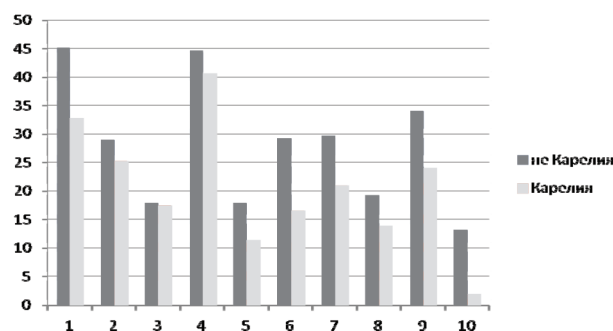


Рис. 4. Популяционные колебания доли завитковых узоров

4. При качественном совпадении п. 2 и п. 3 имеются количественные различия в мере выраженности лучевого расчленения и билатеральной асимметрии. У карел несколько сильнее выражена асимметричность и меньше взаимосвязь признаков правой и левой половин.
5. Очень сильная корреляция дерматоглифики правых и левых половин – основа использования в судебной медицине (установление целого по частям).
6. Установленные особенности дерматоглифики – маркеры тех качеств организма, которые ответственны за адаптацию к экологическим условиям Карелии. Представляет интерес исследование этого предположения на иных этнических группах, а также с дерматоглификой карел (коренных жителей). Нарастание доли дуговых узоров с юга на север и с запада на восток соответствует известному тренду.
7. Сведения о вариативности количественных признаков и частоте встречаемости качественных – ценностные для криминалистической идентификации личности (дактилоскопии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова Т. Ф. Пальцевая дерматоглифика и физические способности: Дисс. ... д-ра биол. наук. М., 2003. 298 с.
2. Божченко А. П., Попов В. Л., Заславский Г. И. Дерматоглифика при идентификации личности. СПб.: Изд-во Р. Асламова «Юридический центр Пресс», 2008. 194 с.
3. Божченко А. П. Судебно-медицинская оценка дерматоглифических признаков пальцев рук в идентификации личности: Дисс. ... д-ра мед. наук. СПб., 2009. 301 с.
4. Звягин В. Н., Сидоренко А. Г., Галицкая О. И. Определение половой принадлежности человека по признакам гребневого счета ладоней с использованием канонического дискриминантного анализа // Проблемы экспертизы в медицине. 2006. № 3. С. 11–14.
5. Мазур Е. С., Сидоренко А. Г. Дерматоглифика в прогнозировании конституциональных, физических и внешне опознавательных признаков человека // Судебно-медицинская экспертиза. 2009. № 4. С. 21–25.
6. Фандеева О. М. Структурная организация папиллярных узоров пальцев и их особенности в семейных группах: Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. СПб., 2010. 21 с.
7. Хайруллин Р. М. Факторы изменчивости кожных узоров пальцев. Ульяновск, 2005. 152 с.
8. Хитъ Г. А., Ширококов И. Г., Славолубова И. А. Дерматоглифика в антропологии. СПб.: Нестор-история, 2013. 374 с.
9. McLaughlin S., Bruce M. Population variations in sexual dimorphism in the human in nominate // Hum. Evol. 1986. Vol. 1. № 3. P. 221–231.
10. Micle S., Kobyljanska E. Asymmetry and diversity of dermatoglyphics // Homo. 1991. Vol. 42. № 1. P. 21–42.

Bozhchenko A. P., S. M. Kirov's Army Medical College (St. Petersburg, Russian Federation)
Rigonen V. I., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

DERMATOGLYPHIC FEATURES OF RUSSIANS RESIDING IN KARELIAN REPUBLIC

The research work deals with the problem of dermatoglyphic standards' definition for the population residing in Karelian Republic. The solution of the problem is essential for the fulfillment of proper diagnostics and identification tasks in medicine and criminalistics. The investigation estimated factors and mechanisms influencing variability in morphometric indices in the main types of existing skin patterns found on distal finger phalanges of human wrists belonging to residents of Karelia.

Key words: dermatoglyphics, skin patterns, Northern region, identification

REFERENCES

1. Abramova T. F. *Pal'tsevaya dermatoglifika i fizicheskie sposobnosti: Diss. ... d-ra biol. nauk* [Digital dermatoglyphics and physical abilities: Dr. biol. sci. diss]. Moscow, 2003. 298 p.
2. Bozhchenko A. P., Popov V. L., Zaslavskiy G. I. *Dermatoglifika pri identifikatsii lichnosti* [Dermatoglyphics in personal identification]. Moscow, 2008. 194 p.
3. Bozhchenko A. P. *Sudebno-meditsinskaya otsenka dermatoglificheskikh priznakov v identifikatsii lichnosti: Diss. ... d-ra med. nauk* [Forensic medical assessment of dermatoglyphic characteristics of the fingers in personal identification]. St. Petersburg, 2009. 301 p.
4. Zvyagin V. N., Sidorenko A. G., Galitskaya O. I. Estimation of sexual identity of a human according to the crest count of the palm using canonical discriminatory analysis [Opredelenie polovoy prinaldezhnosti cheloveka po priznakam grebnevoogo scheta ladonей s ispol'zovaniem kanonicheskogo diskriminantnogo analiza]. *Problemy ekspertizy v meditsine*. 2006. № 3. P. 11–14.
5. Mazur E. S., Sidorenko A. G. Dermatoglyphics in prediction of constitutional, physical and external identification of individuals [Dermatoglifika v prognozirovaniі konstitutsional'nykh, fizicheskikh i vneshne opoznavatel'nykh priznakov cheloveka]. *Sudebno-meditsinskaya ekspertiza*. 2009. № 4. P. 21–25.
6. Fandeeva O. M. *Strukturnaya organizatsiya papillyarnykh uzorov pal'tsev i ikh osobennosti v semeynykh gruppakh: Avtoref. diss. ... d-ra med. nauk* [Structural organization of papillary patterns of the fingers and their features in family groups: Dr. med. sci. diss.]. St. Petersburg, 2010. 21 p.
7. Khayrullin R. M. *Faktory izmenchivosti kozhnykh uzorov pal'tsev* [Factors of skin pattern variability of the fingers]. Ulyanovsk, 2005. 152 p.
8. Hit' G. A., Shiroboikov I. G., Slavolyubova I. A. *Dermatoglifika v antropologii* [Dermatoglyphics in anthropology]. St. Petersburg, 2013. 374 p.
9. McLaughlin S., Bruce M. Population diversity and sexual dimorphism in human in nominate // Hum. Evol. 1986. Vol. 1. № 3. P. 221–231.
10. Micle S., Kobyljanska E. Asymmetry and diversity of dermatoglyphics // Homo. 1991. Vol. 42. № 1. P. 21–42.

Поступила в редакцию 30.07.2015

АНАСТАСИЯ АЛЕКСАНДРОВНА МЕЛЕНТЬЕВА

ординатор отделения гемодиализа, Республиканская больница им. В. А. Баранова (Петрозаводск, Российская Федерация)

aamelenteva@rambler.ru

ОЛЬГА ЮРЬЕВНА БАРЫШЕВА

доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры госпитальной терапии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

olvar@karelia.ru

ГАЛИНА ПЕТРОВНА ТИХОВА

сотрудник лаборатории клинической эпидемиологии Института высоких биомедицинских технологий, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

gala@critical.ru

ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПОЧЕК НА ГЕМОДИАЛИЗЕ*

Выявление предикторов летального исхода имеет большое значение для прогноза исхода лечения гемодиализом (ГД) и выбора оптимальной тактики коррекции этих нарушений у больных на ГД, а также профилактики их развития до начала заместительной почечной терапии. Цель настоящей работы – выяснение влияния на выживаемость больных минерально-костных нарушений, оцененных у пациентов, получающих ГД. В ретроспективный анализ были включены 508 больных, в качестве заместительной почечной терапии получавших лечение ГД. Из этой группы была выделена группа пациентов с летальным исходом (162 человека). Длительность лечения ГД составила от 3 месяцев до 21 года (в среднем $4,5 \pm 0,4$ года). Установлено, что ежегодное количество пациентов, имеющих минерально-костные нарушения на фоне хронической болезни почек (ХБП) и получающих лечение ГД, составляет от 74,4 до 85,6 %. При этом средний уровень фосфора в исследуемой популяции находился в диапазоне от 2,16 до 2,95 ммоль/л, общий кальций от 2,22 до 2,34 ммоль/л. Показано, что высокий риск летального исхода среди обследованных пациентов наблюдался при уровне фосфора $< 1,45$ и $> 3,0$ ммоль/л ($p = 0,09$), ПТГ $< 14,4$ пмоль/л ($p = 0,25$). Получены данные, свидетельствующие о том, что частота летального исхода среди пациентов на ГД существенно не зависела от сывороточной концентрации кальция ($p = 0,39$). При этом наименьший процент летальных исходов наблюдался при уровне кальция сыворотки $> 2,5$ ммоль/л. Предложена формула для прогностического расчета риска летального исхода в зависимости от стажа ГД для конкретного больного, соответствующего параметрам исследованной популяции.

Ключевые слова: хроническая болезнь почек, минерально-костные нарушения, кальций, фосфор, паратиреодный гормон, выживаемость, смертность

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ХБП представляет собой «немую эпидемию» и является существенной проблемой здравоохранения как в России, так и во всем мире, что связано со значительным ростом числа пациентов с ХБП. По данным литературы, признаки ХБП имеет как минимум каждый десятый житель Земли, таким образом, в нашей стране не менее 14 млн человек страдают от патологии почек. Ежегодно увеличивается количество затрат на проведение заместительной почечной терапии (ЗПТ), а также лечение осложнений терминальной стадии хронической почечной недостаточности (тХПН). В рамках системы здравоохранения Medicare США на лечение гемодиализом одного пациента с тХПН в среднем расходуется около 87 945 долл. США, а в России затраты в

течение года на одного пациента составляют не менее 1–1,5 млн руб. [9]. Увеличение продолжительности жизни пациентов с тХПН, получающих ЗПТ, является одним из величайших достижений современной медицины. Однако, несмотря на улучшение технологии проведения диализа, инновации в структуре диализирующих растворов и мембран, разработку новых препаратов для лечения анемии и минерально-костных нарушений (МКН), уровень смертности остается достаточно высоким и составляет более 20 % в год [10].

В течение последних лет с целью идентификации факторов риска неблагоприятного исхода среди данной популяции пациентов были проведены многочисленные исследования.

Лидирующей причиной смерти пациентов с тХБП является сердечно-сосудистая патология [2], [10], [16], [18], на долю которой, по мнению

различных авторов, приходится от 40 до 60 %, из которых 20 % составляет внезапная сердечная смерть (ВСС), причем последняя наблюдается в 100 раз чаще у пациентов с ХПН по сравнению с общей популяцией. Риск развития летального исхода при наличии патологии сердечно-сосудистой системы (ССС) у пациентов с ХБП в 10–30 раз выше по сравнению с общей популяцией [2], [7], [10], [16], [19]. При этом ежегодная смертность пациентов на диализе от кардиоваскулярных причин в возрасте 30 лет сопоставима со смертью пациентов в возрастной группе 75–80 лет [2], что позволило отнести пациентов с ХБП к группе высокого сердечно-сосудистого риска. По данным многочисленных исследований, признаки ремоделирования сердца и сосудов отмечаются более чем у половины больных с умеренным снижением функции почек, задолго до необходимости проведения ЗПТ [9].

Преобладание в структуре смертности кардиоваскулярных осложнений связано с наличием у пациентов с тХПН не только традиционных «фремингемских» факторов риска сердечно-сосудистых осложнений (ССО) (возраст, курение, стресс, мужской пол, наличие сахарного диабета, ожирения, артериальной гипертензии, дислипидемии, гиподинамии), но и присутствием нетрадиционных факторов риска, связанных с умеренной (продолжительность диализа, анемия, состояние питания, гипергомоцистеинемия, гипоальбуминемия, нарушения минерально-костного гомеостаза (уровни в сыворотке крови кальция и фосфора, паратиреоидного гормона (ПТГ), нарушение метаболизма витамина D, повышение уровня FGF-23 и экспрессии остеогенных факторов) и кислотно-щелочного равновесия, хроническое воспаление, снижение экспрессии фетуина-А). Кроме того, возрастание ССО ассоциировано с отсутствием однозначной доказательной базы в отношении назначения гиполипидемической терапии пациентам с ХБП [2], [3], [18]. Данные факторы достоверно связаны с риском развития и прогрессирования атеросклероза, дестабилизацией атеросклеротической бляшки, развитием миокардиального фиброза и поражения клапанного аппарата сердца [16]. Развитие ИБС, в том числе ОКС, сердечной недостаточности, гипертрофии левого желудочка (ГЛЖ), нарушений миокардиальной структуры и функции – главная причина смерти среди данной популяции пациентов [16]. Кроме того, высокая частота встречаемости ИБС среди пациентов с тХБП обусловлена не только атеросклеротическим поражением сосудов, но и развитием кальциноза меди и на фоне дисбаланса между промоутерами и ингибиторами кальцификации, что является одним из проявлений минерально-костных нарушений при ХБП [14]. С развитием острого инфаркта миокарда (ОИМ) у пациентов на ГД связано около 20 % летальных исходов [2].

К факторам риска ССО у пациентов, получающих ЗПТ методом ГД, относятся: артериальная гипертензия (АГ), гипертрофия левого желудочка (ГЛЖ), наличие хронической сердечной недостаточности (ХСН), нарушений ритма, электролитного дисбаланса (калий, магний, кальций) и объемов циркулирующей жидкости [2]. В последнее время большое внимание при оценке сердечно-сосудистого риска у пациентов с ХБП уделяется оценке пульсового давления – как независимому, достоверно влияющему на выживаемость пациентов фактору. В исследовании CREED study было продемонстрировано, что значение пульсового давления ≥ 70 мм рт. ст. было ассоциировано с двукратным возрастанием риска неблагоприятного исхода от ССО по сравнению со значением пульсового давления в пределах 50 мм рт. ст. [8].

Кроме того, в ходе исследований было установлено, что у пациентов, получающих лечение ГД, риск смерти возрастает при наличии повышения уровня С-реактивного белка (СРБ) [1], [18]. Qureshi и соавт. (см. [1]) в своих исследованиях продемонстрировали, что при лечении ГД повышение уровня СРБ наблюдалось значительно чаще у пациентов с диагностированной ИБС, что соответствует современным представлениям о воспалительном генезе развития и прогрессирования атеросклероза.

На долю инфекционных осложнений, связанных с бактериемией и сепсисом, приходится до 20 %, это второе место среди причин смертности пациентов с тХБП [9], [14]. При этом причины смерти, ассоциированные с проведением ЗПТ, включают наличие (в качестве сосудистого доступа) центрального венозного катетера [14], [17], [18] и кальцифицирующей уремической артериолопатии, развивающейся на фоне нарушений минерально-костного метаболизма. Последняя является редко встречающимся осложнением у пациентов с тХПН (2–5 %) и характеризуется развитием тяжелых некротических поражений кожи и подкожной клетчатки в результате кальцификации меди артерий и артериол, а также высокой летальностью до 80 % вследствие септических осложнений [4], [15].

По данным литературы, наиболее часто выявляемой культурой микроорганизмов в крови пациентов с тХБП является в 28–65 % грамположительная флора (*S. aureus*) и около 45 % – грамотрицательная флора. При этом обнаружение грамположительных микроорганизмов, в частности золотистого стафилококка, связано с более высокими показателями смертности, в первую очередь за счет обнаружения метициллин-резистентных штаммов (MRSA) [13], [14].

Влияние демографических показателей – пола и возраста – в развитии неблагоприятных исходов у пациентов с ХБП обсуждается. В последнее время возраст рассматривается как фактор

риска неблагоприятного клинического исхода в сочетании с коморбидным фоном (особенно при наличии сахарного диабета) у пациентов с тХПН, получающих лечение ГД, и перестает играть самостоятельную роль [1], [17]. По данным литературы, имеются сообщения о преобладании риска смертельного исхода среди лиц мужского пола по сравнению с женщинами и среди лиц белой расы по сравнению с афроамериканцами [11], [17].

С целью исследования структуры смертности и факторов, влияющих на неблагоприятный прогноз у пациентов с ХБП 5-й стадии, получающих ЗПТ методом ГД, было проведено ретроспективное исследование на базе отделения гемодиализа ГБУЗ «Республиканская больница имени В. А. Баранова».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективное исследование включало анализ 508 историй болезни пациентов, получающих лечение хроническим гемодиализом на базе ГБУЗ «Республиканская больница имени В. А. Баранова» за период с 2009 по 2013 год.

На основании анализа данных для оценки структуры смертности и построения кривой дожития в зависимости от стажа ГД была набрана когорта пациентов, состоящая из 162 человек с ХБП 5-й (Д) стадии. Средний возраст больных составил $48,5 \pm 1,0$ года ($\min = 19$, $\max = 74$ года): из них 83 пациента мужского пола (средний возраст $46,6 \pm 1,5$ года) и 79 пациентов женского пола (средний возраст $50,4 \pm 1,5$ года). Средний стаж лечения ГД составил $4,5 \pm 0,4$ года ($\min = 3$ месяца, $\max = 21$ год). Лечение проводилось на аппаратах фирмы «Fresenius 4008» с использованием капиллярных диализаторов площадью 1,3–2,1 м² и уровнем кальция диализирующего раствора 1,5 ммоль/л.

Лидирующей причиной развития тХПН, требующей проведения ЗПТ, являлся хронический гломерулонефрит 46,9 % ($n = 76$), на втором месте – нефропатия неустановленного генеза 11,7 % ($n = 19$) и диабетическая нефропатия 11,7 % ($n = 19$), в меньшем процентном соотношении – поликистоз почек 10,5 % ($n = 17$) и хронический пиелонефрит 6,8 % ($n = 11$). Хроническая болезнь почек 5-й (Д) стадии в исходе других нозологических причин (гипертонический нефросклероз, вторичный амилоидоз почек, аномалия развития мочевыводящих путей, ишемическая болезнь почек) зарегистрирована у 12,4 % пациентов ($n = 20$).

Всем пациентам с помощью стандартных методик квалифицированными специалистами лаборатории ГБУЗ «Республиканская больница имени В. А. Баранова» проводилось определение в образцах сыворотки крови концентраций фосфора, общего кальция и паратиреоидного гормона (ПТГ).

Статистическая обработка данных, полученных в результате исследования, включала описа-

тельную статистику, для исследования кривых дожития применялась модель пропорциональных рисков Кокса (регрессия Кокса). Результаты описательной статистики представлены в виде среднего значения и ошибки среднего ($M \pm m$) для тех показателей, выборочное распределение которых не имело статистически достоверного различия с нормальным законом распределения (критерий Колмогорова – Смирнова и критерий Шапиро – Уилкса). Статистическая достоверность межгруппового различия частот проверялась по критерию хи-квадрат на уровень значимости 0,05. Для бинарных переменных были рассчитаны абсолютные (N) и относительные (%) частоты. Все расчеты и процедуры статистического анализа данных проводились с помощью программы Statistica версии 10.0, а также пакета программ для статистического анализа StatTools версии 1.0 производства компании «ИнтелТек Лаб».

РЕЗУЛЬТАТЫ

Количество летальных исходов за весь период наблюдения с 2009 по 2013 год ($n = 162$) составило 24,7 %. Структура смертности пациентов с ХБП 5-й (Д) стадии, получающих лечение ГД на базе ГБУЗ «Республиканская больница имени В. А. Баранова», представлена на рис. 1.

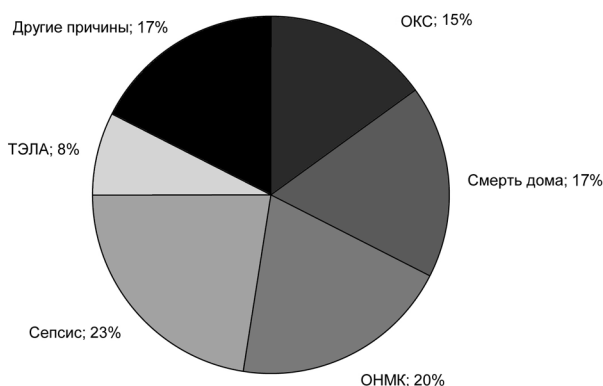


Рис. 1. Структура смертности пациентов с ХБП 5-й (Д) стадии по данным отделения гемодиализа ГБУЗ «Республиканская больница имени В. А. Баранова» за период наблюдения с 2009 по 2013 год

Исходный стаж ГД в исследуемой когорте пациентов составлял от 3 месяцев до 21 года, что позволило применить модель пропорциональных рисков Кокса для построения кривых дожития во всей исследуемой группе пациентов. Результаты представлены на рис. 2.

На линейном участке кривой дожития (интервал стажа ГД от 0 до 18 лет) коэффициент корреляции между стажем ГД и долей выживших пациентов составил 0,98, что позволило применить линейную регрессионную модель для описания зависимости динамики риска летального исхода (%) от стажа ГД (количество лет).

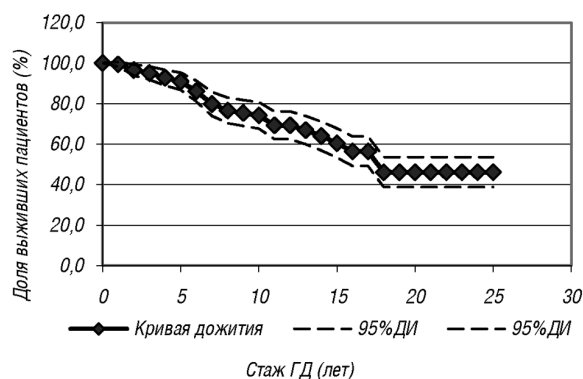


Рис. 2. График кривой дожития пациентов с ХБП 5-й (Д) стадии ($n = 162$) в зависимости от стажа лечения гемодиализом. Кривая дожития обозначена сплошной линией, пунктирными линиями – верхний и нижний пределы 95 % ДИ

Регрессионная формула:

$$\text{Surv} = -0,029 \times Y + 1,023,$$

где Surv – доля выживших пациентов, Y – стаж ГД в годах.

Оба коэффициента полученной формулы статистически достоверны на уровне значимости 0,0001 по Стьюденту.

Исходя из предложенной модели, можно утверждать, что в данной популяции больных с ХБП каждый год стажа лечения ГД увеличивает риск летального исхода на 2,9 %.

При сопоставлении линейного участка кривой дожития, полученного в результате исследования, и отрезка регрессионной прямой, рассчитанного по линейной регрессионной модели на рис. 3, видно, что эти параметры практически совпадают. Это позволяет предложить полученную формулу в качестве прогностического расчета риска летального исхода в зависимости от стажа ГД для любого конкретного больного, соответствующего параметрам исследованной популяции. Исходя из литературных данных о наличии взаимосвязи между минерально-костными нарушениями и риском неблагоприятного исхода среди пациентов с ХБП 5-й (Д) стадии, с целью изучения влияния фосфора, кальция и ПТГ сыворотки на смертность последние ($n = 508$) были разбиты на группы в зависимости от лабораторных показателей исследуемых величин. Интервал значений ПТГ у пациентов на гемодиализе выбран в диапазоне от 2 до 9 верхних границ нормального диапазона, что соответствует 130–600 пг/мл или 14,4–66 пмоль/л (согласно нормальным диапазонам концентраций, изложенным в национальных рекомендациях по минеральным и костным нарушениям при ХБП [17]), для общего кальция от $\leq 2,15$ до $> 2,5$ ммоль/л и для фосфора от $\leq 0,81$ до $> 3,0$ ммоль/л. Результаты представлены на рис. 4–6.

Средние концентрации исследуемых величин, влияющих на смертность пациентов с ХБП 5-й

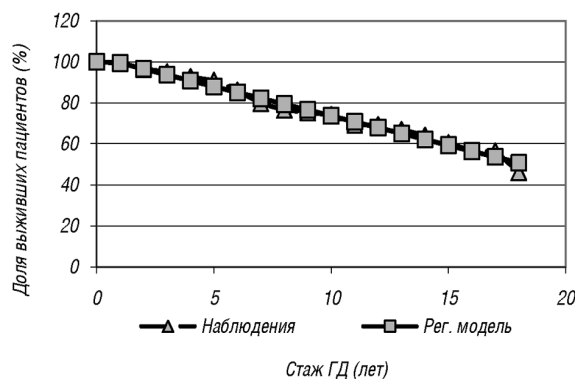


Рис. 3. Сопоставление графика кривой дожития для общей группы исследуемых пациентов ($n = 162$) в зависимости от стажа лечения ГД с отрезком регрессионной прямой, рассчитанной по линейной регрессионной модели

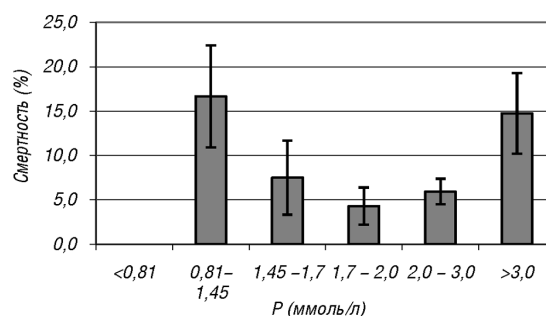


Рис. 4. Влияние различных уровней фосфора сыворотки (ммоль/л) на смертность пациентов с ХБП 5-й стадии, получающих лечение ГД ($M \pm m$)

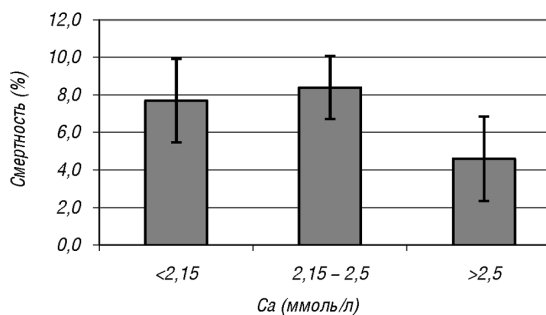


Рис. 5. Влияние различных уровней кальция сыворотки (ммоль/л) на смертность пациентов с ХБП 5-й стадии, получающих лечение ГД ($M \pm m$)

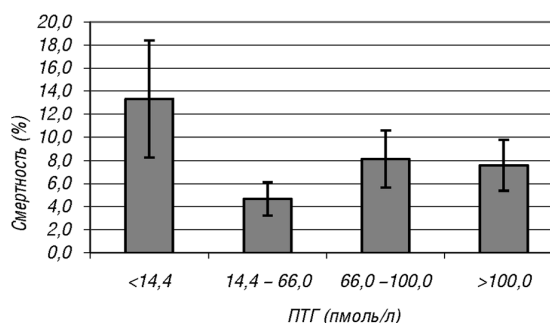


Рис. 6. Влияние различных уровней ПТГ сыворотки (пмоль/л) на смертность пациентов с ХБП 5-й стадии, получающих лечение ГД ($M \pm m$)

Средние концентрации ($M \pm m$) уровней фосфора, кальция, ПТГ и доля больных, имеющих минерально-костные нарушения, за период наблюдения с 2009 по 2013 год среди пациентов с ХБП 5-й стадии, получающих лечение ГД

Год	2009	2010	2011	2012	2013
Р, ммоль/л (N)	2,21 $\pm$ 0,08 (n = 99)	2,95 $\pm$ 0,06 (n = 104)	2,32 $\pm$ 0,07 (n = 86)	2,16 $\pm$ 0,07 (n = 114)	2,16 $\pm$ 0,06 (n = 108)
Ca общ., ммоль/л (N)	2,23 $\pm$ 0,08 (n = 91)	2,30 $\pm$ 0,03 (n = 104)	2,26 $\pm$ 0,03 (n = 87)	2,22 $\pm$ 0,02 (n = 114)	2,34 $\pm$ 0,03 (n = 108)
ПТГ, пмоль/л (N)	93,11 $\pm$ 7,50 (n = 111)	103,17 $\pm$ 8,01 (n = 107)	79,03 $\pm$ 6,88 (n = 107)	81,96 $\pm$ 6,77 (n = 98)	97,61 $\pm$ 6,89 (n = 108)
МКН, %	74,4	83,7	78,2	85,6	78,8

стадии, получающих лечение ГД, за весь период наблюдения представлены в таблице.

ОБСУЖДЕНИЕ

Как и в общей популяции пациентов с ХБП, лидирующими причинами смерти среди исследуемой группы пациентов были сердечно-сосудистые осложнения, из которых преобладающим являлось развитие острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) 20 % и острого коронарного синдрома (ОКС) 15 %. Также значительную долю составляло развитие септических осложнений (23 %). У 8 % пациентов летальный исход был зарегистрирован в результате развития тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА), у 18 % пациентов причина смерти не была установлена, столько же пациентов имели летальный исход, не связанный с инфекционными и сосудистыми осложнениями (острый лейкоз, гастродуоденальное кровотечение, гиперкалиемия, отек легких, раковая кахексия).

Эти данные сопоставимы с данными литературы, где в ходе проведенных исследований установлено, что лидирующими причинами смерти у пациентов на ГД остаются сердечно-сосудистые и инфекционные осложнения [20].

В данном исследовании было показано влияние на выживаемость пациентов, получающих лечение ГД, нескольких факторов, участвующих в патогенезе минерально-костных нарушений при ХБП, в частности кальция, фосфора и ПТГ. Были получены результаты, свидетельствующие о том, что высокий риск летального исхода среди обследованных пациентов с ХБП 5-й (Д) стадии ($n = 508$) наблюдался при уровне фосфора $< 1,45$ и $> 3,0$ ммоль/л ($p = 0,09$), ПТГ $< 14,4$ пмоль/л ($p = 0,25$). Также в ходе исследования были получены данные, свидетельствующие о том, что частота летального исхода среди пациентов с ХБП 5-й (Д) стадии существенно не зависела от сывороточной концентрации кальция: не было выявлено различий частоты летального исхода в зависимости от сывороточной концентрации кальция ($p = 0,39$). При этом наименьший процент летальных исходов наблюдался при уровне кальция сыворотки $> 2,5$ ммоль/л. Вероятно, влияние уровня кальция на смертность пациентов с ХБП 5-й (Д) стадии происходит опосредованно через комбинацию

с другими факторами (наличие кальцификации сосудов и мягких тканей, гипер/гипофосфатемии, сочетание с уровнем ПТГ сыворотки).

Таким образом, результаты проведенного исследования согласуются с данными литературы и подтверждают влияние отклонений в биохимических параметрах минерально-костного метаболизма на выживаемость пациентов на гемодиализе. В проведенных эпидемиологических исследованиях установлено, что повышение уровней фосфатов выше целевого диапазона ассоциировано с высоким риском смертности [3], [6], в том числе у пациентов без ХБП и даже без исходной сердечно-сосудистой патологии. Причем в большинстве исследований возрастание риска неблагоприятного исхода наблюдалось при уровне фосфора сыворотки более 1,6–1,8 ммоль/л. По данным многочисленных исследований, границей, после которой начинают расти риски общей и сердечно-сосудистой летальности, является диапазон значений кальция 2,5–2,63 ммоль/л [5]. В исследовании ARO с участием 11 122 пациентов исходные значения ПТГ (в первые три месяца лечения) вне диапазона 150–300 пг/мл были ассоциированы с повышенным риском смерти, кроме того, наибольший риск летального исхода был выявлен в группе пациентов с уровнем ПТГ < 75 пг/мл. В этом же исследовании продемонстрированы данные в отношении риска летального исхода, ассоциированного с уровнем кальция сыворотки: диапазон концентраций кальция в пределах 2,37–2,75 ммоль/л не связан с увеличением риска смерти, тогда как повышение концентрации более 2,75 ммоль/л и менее 2,1 ммоль/л было ассоциировано с возрастанием риска летального исхода. По данным, полученным в результате исследования 55 000 вновь принятых на диализ пациентов в Тайване, высокие значения ПТГ (в том числе более 600 пг/мл) были ассоциированы скорее с пониженным риском смерти пациентов в сравнении с уровнем ПТГ < 100 пг/мл. Анализ был проведен также в отношении влияния комбинаций нарушений минерально-костного метаболизма на смертность пациентов с ХБП. Причем наиболее значительные риски летального исхода наблюдались при сочетании гиперкальциемии и гиперфосфатемии с низкими показателями ПТГ. Меньший риск наблюдался при сочетании нормокальциемии и

нормофосфатемии с высокими значениями ПТГ. В исследовании DOPPS было выявлено возрастание риска летального исхода при сочетании гиперкальциемии и уровня ПТГ > 300 пг/мл, даже при нормальной концентрации фосфатов сыворотки. Те же результаты были получены в отношении гипокальциемии и уровня ПТГ < 300 пг/мл [17]. В другом исследовании с участием более 100 000 пациентов на гемодиализе с увеличением летальности была ассоциирована и гиперкальциемия, и гипокальциемия (при уровне кальция ниже $2,25$ ммоль/л), особенно в сочетании с гиперфосфатемией и высокими уровнями ПТГ [5].

По результатам исследования было установлено, что ежегодное количество пациентов, имеющих минерально-костные нарушения на фоне ХБП и получающих лечение ГД, составляет от 74,4 до 85,6 %. При этом средний уровень фосфора в исследуемой популяции находился в диапазоне от 2,16 до 2,95 ммоль/л, общий кальций от 2,22 до 2,34 ммоль/л, концентрация ПТГ в пределах от 79,03 до 103,17 пмоль/л, что позволяет отнести большинство пациентов с ХБП,

получающих лечение гемодиализом на базе ГБУЗ «Республиканская больница имени В. А. Баранова», к группе высокого риска неблагоприятного исхода. В то же время в ходе исследования было установлено, что не только осложнения тХПН, но и длительность ЗПТ влияют на выживаемость пациентов с тХПН. Предложена формула для прогностического расчета риска летального исхода в зависимости от стажа ГД для конкретного больного, соответствующего параметрам исследованной популяции.

В настоящее время нарушения минерально-костного обмена и влияние дисбаланса кальция, фосфатов и ПТГ на смертность пациентов с тХПН широко обсуждаются в литературе. Проведенные эпидемиологические исследования демонстрируют прямую зависимость между смертностью пациентов с ХБП и концентрациями кальция, фосфора и ПТГ сыворотки [12]. Своевременная коррекция этих факторов на преддиализном этапе позволит улучшить прогноз больных с ХБП, получающих заместительную почечную терапию.

* Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бикбов Б. Т., Кирхман В. В., Ушакова А. И. Предикторы летального исхода у больных на гемодиализе // Нефрология и диализ. 2004. № 2. С. 154–163.
2. Бокерия Л. А., Ярустовский М. Б., Бокерия О. Л., Биниашвили М. Б. Внезапная сердечная смерть при заболевании почек // Анналы аритмологии. 2009. № 2. С. 39–45.
3. Волгина Г., Селезнев Д., Балкарова О. Внекостная кальцификация у пациентов с хронической болезнью почек // Врач. 2012. № 7. С. 2–8.
4. Земченков А. Ю., Герасимчук Р. П. Активаторы рецепторов витамина D и сосудистая кальцификация (обзор литературы) // Нефрология и диализ. 2009. № 4. С. 276–289.
5. Земченков А. Ю., Герасимчук Р. П. Рекомендации по МКН-ХБП: преемственность, современное состояние и перспективы // Нефрология и диализ. 2011. № 1. С. 20–30.
6. Милованова Л. Ю., Милованов Ю. С. Нарушения фосфорно-кальциевого обмена при хронической болезни почек III–V стадий // Клиническая нефрология. 2011. № 1. С. 58–68.
7. Смирнов А. В., Добронравов В. А., Каюков И. Г. Кардио-ренальный континуум: патогенетические основы превентивной нефрологии // Нефрология. 2005. № 3. С. 7–15.
8. Суворов А. В., Зубеева Г. Н., Обухова С. В. Влияние значений артериального давления на прогноз и выживаемость диализных пациентов // Современные технологии в медицине. 2012. № 2. С. 135–137.
9. Швецов М. Ю. Хроническая болезнь почек как общемедицинская проблема: современные принципы нефропрофилактики и нефропротективной терапии // Consilium Medicum. 2014. № 7. С. 3–14.
10. Block G. A., Klassen P. S., Lazarus J. M. Mineral metabolism, mortality, and morbidity in maintenance hemodialysis // J. Am. Soc. Nephrol. 2004. № 15. P. 2208–2218.
11. Bloembergen W. E., Port F. K., Mauger E. A. Causes of death in dialysis patients: racial and gender differences // J. Am. Soc. Nephrol. 1994. Vol. 5. № 5. P. 1231–1242.
12. Chertow G. M., Burke S. K., Raggi P. Sevelamer attenuates the progression of coronary and aortic calcification in hemodialysis patients // Kidney International. 2002. Vol. 62. P. 245–252.
13. Fram D., Taminato M., Ponzio V. Risk factors for morbidity and mortality of bloodstream infection in patients undergoing hemodialysis: a nested case-control study. Available at: <http://www.biomedcentral.com/1756-0500/7/882>
14. Fusaraki M., Samonis G., Valachis A. Incidence, clinical, microbiological features and outcome of bloodstream infections in patients undergoing hemodialysis // Int. J. Med. Sci. 2013. Vol. 10. № 12. P. 1632–1638.
15. National Kidney Foundation. K/DOQI Clinical Practice Guidelines for Bone Metabolism and Disease in Chronic Kidney Disease // Am. J. Kidney Dis. 2003 (suppl. 3). № 42. P. 1–202.
16. Petrovic D., Obrenovic R., Trbojevic-Stancovic J. Cardiovascular mortality in hemodialysis patients: clinical and epidemiological analysis // J. Med. Biochem. 2011. Vol. 30. № 4. P. 302–308.
17. Rayner H. C., Pisoni R. L., Bommer J. Mortality and hospitalization in hemodialysis patients in five European countries: results from the Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study (DOPPS) // Nephrol. Dial. Transplant. 2004. № 19. P. 108–120.
18. Sameiro-Faria M., Ribeiro S., Costa E. Risk factors for mortality in hemodialysis patients: two-year follow-up study // Disease Markers. 2013. Vol. 35. № 6. P. 791–798.
19. Steinvinkel P. Chronic kidney disease: a public health priority and harbinger of premature cardiovascular disease // Journal of Internal Medicine. 2010. Vol. 268. P. 456–467.
20. Stojceva-Taneva O., Selim Gj., Tozija L. Early mortality rate in end-stage renal disease patients initiating hemodialysis // Contributions, Sec. Biol. Med. Sci. MASA. 2006. Vol. XXVII. № 2. P. 29–35.

Melent'eva A. A., Republican Hospital named after V. A. Baranov (Petrozavodsk, Russian Federation)
Barysheva O. Yu., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)
Tikhova G. P., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

SURVIVAL RATE IMPACT FACTORS IN PATIENTS TREATED BY HEMODIALYSIS FOR CHRONIC KIDNEY DISEASE

Identification of lethal outcome predictors is of great importance for the forecast of possible treatment outcome in case of hemodialysis and a choice of optimum correction tactics in patients treated by dialysis. It is also essential in prophylaxis and control of disorders prior to the replacement kidney therapy. The purpose of the study was to clarify their influence on the survival rate of the invalid mineral and bone violations revealed in the patients treated by hemodialysis. The retrospective analysis included 508 patients treated by hemodialysis as a replacement kidney therapy. A group of patients with lethal outcome (162 persons) was allocated from the control group of patients. The duration of hemodialysis treatment ranged from 3 months to 21 year (on average $4,5 \pm 0,4$ years). It was established that the annual number of patients with mineral and bone disorders in chronic kidney disease and receiving treatment by hemodialysis ranged from 74,4 to 85,6 %. Thus, the average level of phosphorus in the studied population ranged from 2,16 to 2,95 mmol/l, the general calcium – from 2,22 to 2,34 mmol/l. It is shown that the high risk of lethal outcome in the group of examined patients was observed at phosphorus level $< 1,45$ and $> 3,0$ mmol/l ($r = 0,09$), PTG $< 14,4$ pmol/l ($r = 0,25$). The data testifying on the frequency of lethal outcome in patients on hemodialysis were obtained. The frequency of lethal outcome in the studied group of patients didn't significantly depend on serumal concentration of calcium ($r = 0,39$). Thus, the smallest percent of lethal outcomes was observed when the level of serum calcium was $> 2,5$ mmol/l. The formula of prognostic lethal outcome calculation, incorporating duration of treatment by hemodialysis for any specific patient, is offered.

Key words: chronic kidney disease, mineral and bone violations, calcium, phosphorus, parathyreoid hormone, survival, mortality

REFERENCES

1. Bikbov B. T., Kirkhman V. V., Ushakova A. I. Predictors of mortality in patients on hemodialysis [Prediktory letal'nogo iskhoda u bol'nykh na gemodialize]. *Nefrologiya i dializ*. 2004. № 2. P. 154–163.
2. Bokeriya L. A., Yarustovskiy M. B., Bokeriya O. L., Biniashvili M. B. Sudden heart death in kidney disease [Vnezapnaya serdechnaya smert' pri zabolevanii pochehek]. *Annaly aritmologii*. 2009. № 2. P. 39–45.
3. Volgina G., Seleznev D., Balkarova O. None bone calcification in patients with chronic kidney disease [Vnekostnaya kal'tsifikatsiya u patsientov s khronicheskoy bolezn'yu pochehek]. *Vrach*. 2012. № 7. P. 2–8.
4. Zemchenkov A. Yu., Gerasimchuk R. P. Vitamin D receptor activators and calcification of vessels (overview) [Aktivatory retseptorov vitamina D i sosudistaya kal'tsifikatsiya (obzor literatury)]. *Nefrologiya i dializ*. 2009. № 4. P. 276–289.
5. Zemchenkov A. Yu., Gerasimchuk R. P. Recommendations on MBD-CKD: continuity, current state and prospects [Rekomendatsii po MKN-KhBP: preemstvennost', sovremennoe sostoyanie i perspektivy]. *Nefrologiya i dializ*. 2011. № 1. P. 20–30.
6. Milovanova L. Yu., Milovanov Yu. S. Disturbances of phosphorus-calcium metabolism in chronic kidney disease III–V stage [Naruseniya fosforno-kal'tsievogo obmena pri khronicheskoy bolezn'yu pochehek III–V stadiy]. *Klinicheskaya nefrologiya*. 2011. № 1. P. 58–68.
7. Smirnov A. V., Dobronravov V. A., Kayukov I. G. Cardio-renal continuum: pathogenic bases of preventive nephrology [Kardio-renal'nyy kontinuum: patogeneticheskie osnovy preventivnoy nefrologii]. *Nefrologiya*. 2005. № 3. P. 7–15.
8. Suvorov A. V., Zubeeva G. N., Obukhova S. V. Effect of blood pressure values on prognosis and survival of hemodialysis patients [Vliyaniye znacheniy arterial'nogo davleniya na prognoz i vyzhivaemost' dializnykh patsientov]. *Sovremennye tekhnologii v meditsine*. 2012. № 2. P. 135–137.
9. Shvetsov M. Yu. Chronic kidney disease as a general medical problem: modern principles of kidney disease prevention and nephroprotection therapy [Khronicheskaya bolezni' pochehek kak obshchemeditsinskaya problema: sovremennye printsipy nefroprofilaktiki i nefroprotektivnoy terapii]. *Consilium Medicum*. 2014. № 7. P. 3–14.
10. Block G. A., Klassen P. S., Lazarus J. M. Mineral metabolism, mortality, and morbidity in maintenance hemodialysis // *J. Am. Soc. Nephrol*. 2004. № 15. P. 2208–2218.
11. Bloembergen W. E., Port F. K., Mauger E. A. Causes of death in dialysis patients: racial and gender differences // *J. Am. Soc. Nephrol*. 1994. Vol. 5. № 5. P. 1231–1242.
12. Chertow G. M., Burke S. K., Raggi P. Sevelamer attenuates the progression of coronary and aortic calcification in hemodialysis patients // *Kidney International*. 2002. Vol. 62. P. 245–252.
13. Fram D., Taminato M., Ponzio V. Risk factors for morbidity and mortality of bloodstream infection in patients undergoing hemodialysis: a nested case-control study. Available at: <http://www.biomedcentral.com/1756-0500/7/882>
14. Fusaraki M., Samonis G., Valachis A. Incidence, clinical, microbiological features and outcome of bloodstream infections in patients undergoing hemodialysis // *Int. J. Med. Sci*. 2013. Vol. 10. № 12. P. 1632–1638.
15. National Kidney Foundation. K/DOQI Clinical Practice Guidelines for Bone Metabolism and Disease in Chronic Kidney Disease // *Am. J. Kidney Dis*. 2003 (suppl. 3). № 42. P. 1–202.
16. Petrovic D., Obrenovic R., Trbojevic-Stancovic J. Cardiovascular mortality in hemodialysis patients: clinical and epidemiological analysis // *J. Med. Biochem*. 2011. Vol. 30. № 4. P. 302–308.
17. Rayner H. C., Pisoni R. L., Bommer J. Mortality and hospitalization in hemodialysis patients in five European countries: results from the Dialysis Outcomes and Practice Patterns Study (DOPPS) // *Nephrol. Dial. Transplant*. 2004. № 19. P. 108–120.
18. Sameiro-Faria M., Ribeiro S., Costa E. Risk factors for mortality in hemodialysis patients: two-year follow-up study // *Disease Markers*. 2013. Vol. 35. № 6. P. 791–798.
19. Stenvinkel P. Chronic kidney disease: a public health priority and harbinger of premature cardiovascular disease // *Journal of Internal Medicine*. 2010. Vol. 268. P. 456–467.
20. Stojceva-Taneva O., Selim Gj., Tozija L. Early mortality rate at the end-stage renal disease in patients initiating hemodialysis // *Contributions, Sec. Biol. Med. Sci. MASA*. 2006. Vol. XXVII. № 2. P. 29–35.

Поступила в редакцию 17.07.2015

ЭЛЛА ЛЕОНИДОВНА ТИХОНОВИЧ

заведующая Респираторным центром, Республиканская больница им. В. А. Баранова (Петрозаводск, Российская Федерация)

*tikhonovich.ella@mail.ru***НАТАЛЬЯ НИКОЛАЕВНА ВЕЗИКОВА**

доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии Медицинского института, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

*vezikov23@mail.ru***ОЛЬГА АЛЕКСАНДРОВНА МАРКЕЛОВА**

пульмонолог Респираторного центра, Республиканская больница им. В. А. Баранова (Петрозаводск, Российская Федерация)

*olga-markelova2010@mail.ru***ИРИНА ЕВГЕНЬЕВНА МАЛЫШЕВА**

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

i.e.malysheva@yandex.ru

ЭПИДЕМИОЛОГИЯ, ОСОБЕННОСТИ КЛИНИКИ, ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ САРКОИДОЗА В КАРЕЛИИ*

Проанализирована распространенность саркоидоза в Республике Карелия, особенности клинической картины, диагностики и лечения по данным Респираторного центра ГБУЗ «Республиканская больница им. В. А. Баранова» г. Петрозаводска. За 11-летний период наблюдения саркоидоз диагностирован у 464 человек. Распространенность саркоидоза в Карелии составляет 73 человека на 100 тыс. населения. В структуре заболевания преобладают II–III стадии процесса. У 56 % больных саркоидоз верифицируется гистологически, для получения материала чаще всего используется метод видеоторакоскопии. Положительная клиничко-лабораторная и рентгенологическая динамика (спонтанная регрессия и регрессия в процессе лечения) отмечается у 233 (58,1 %) пациентов. Рецидивирующее течение имеет место у 7,7 % пациентов. Стабилизация состояния (спонтанная, в процессе или после терапии) достижима у 24,2 % больных. Рецидивы заболевания через 1 год после окончания основного курса лечения или после спонтанной регрессии отмечаются у 14 пациентов (9,3 % всех пациентов, получавших терапию).

Ключевые слова: саркоидоз в Карелии, распространенность, клиника, диагностика, лечение, диспансерное наблюдение

ВВЕДЕНИЕ

Саркоидоз является системным воспалительным заболеванием неизвестной природы, характеризующимся образованием в различных органах и тканях неказеифицирующихся гранул, мультисистемным поражением и активацией Т-клеток в месте гранулематозного воспаления с высвобождением различных хемокинов и цитокинов, включая фактор некроза опухоли. Признаки саркоидоза многообразны, а отсутствие специфических диагностических подходов затрудняет диагностику [7], [8]. Причина саркоидоза остается неизвестной, но различия в проявлениях этого заболевания допускают предположение о том, что саркоидоз имеет более чем одну причину, что может способствовать различным вариантам течения болезни [3]. Заболеваемость саркоидозом в России изучена недостаточно, по имеющимся

публикациям она варьируется от 2 до 7 на 100 тысяч взрослого населения [5]. Распространенность саркоидоза в России, по разным данным, колеблется от 22 до 47 на 100 тыс. взрослого населения.

В связи с трудностями клиничко-лабораторного распознавания саркоидоза различных органов решающая роль в его диагностике принадлежит методам медицинской визуализации, которые включают в себя традиционные рентгенологические методики, компьютерную томографию, магнитно-резонансную томографию, радионуклидные методы, ультразвуковое исследование, в том числе эндоскопическое ультразвуковое исследование с тонкоигольной биопсией лимфатических узлов. Преимуществами этого метода перед трансбронхиальной биопсией и медиастиноскопией являются малая инвазивность, техническая простота и относительно меньшая

стоимость. Специфичность и чувствительность эндоУЗИ с тонкоигольной биопсией лимфатических узлов средостения при различных заболеваниях составляют 92–100 и 97–100 % соответственно, точность – 95–98 %.

Процесс диагностики саркоидоза далек от совершенства, и до 2003 года, когда все больные саркоидозом находились под наблюдением фтизиатров, каждый третий больной проходил пробную противотуберкулезную терапию и практически каждый – превентивную терапию изониазидом. В настоящее время эта практика признана нерациональной. Ведение больных саркоидозом в настоящее время рекомендуется проводить врачам общей практики при консультативной помощи пульмонолога, фтизиатра и врачей других специальностей, в соответствии с преобладающими локализациями болезни [2].

Целью лечения саркоидоза является предупреждение или контроль над повреждением органов, облегчение симптомов и улучшение качества жизни больных [4]. Этиотропной терапии саркоидоза не существует. Во всех случаях основной тактикой врача является сопоставление необходимости назначения лечения с тяжестью последствий от применения современной кортикостероидной, цитостатической и генно-инженерной биологической («таргетной») терапии. В настоящее время ни один лекарственный препарат не одобрен регуляторными органами здравоохранения (например, FDA в США) для лечения больных саркоидозом. Все существующие схемы являются рекомендательными, и в каждом случае лечащий врач берет на себя обоснованную знаниями ответственность за назначенное лечение.

При установленном диагнозе саркоидоза, отсутствии угрожающего жизни состояния, снижения функций органов и систем, очевидных данных за быстрое прогрессирование заболевания предпочтительным является активное наблюдение.

Положения в лечении саркоидоза, имеющие уровни доказательности [5]:

1. Поскольку частота спонтанных ремиссий высока, бессимптомным больным с I стадией саркоидоза лечение не показано [уровень доказательности B].
2. Поскольку частота ремиссий также высока, лечение не показано бессимптомным больным с саркоидозом II и III стадий при легких нарушениях функции легких и стабильном состоянии [D].
3. Оральные кортикостероиды являются препаратами первой линии у больных с прогрессирующим течением болезни по данным рентгенологического и функционального исследования дыхания, при выраженных симптомах или внелегочных проявлениях, требующих лечения [B].

4. Лечение преднизолоном (или эквивалентной дозой другого ГКС) назначают в дозе 0,5 мг/кг/сутки на 4 недели, затем дозу снижают до поддерживающей для контроля над симптомами и прогрессированием болезни в течение 6–24 месяцев [D].
5. Для уменьшения индуцированного стероидами остеопороза следует применять бифосфонаты [D].
6. Ингаляционные ГКС не имеют значения ни в начальной, ни в поддерживающей терапии [B]. Их можно применять в отдельных подгруппах пациентов с выраженным кашлем и бронхиальной гиперреактивностью [D].
7. Другие иммуносупрессивные и противовоспалительные средства имеют ограниченное значение в лечении саркоидоза, но их следует рассматривать как альтернативное лечение, когда ГКС не контролируют течение заболевания, имеются серьезные сопутствующие заболевания тяжелого течения (сахарный диабет, ожирение, артериальная гипертензия, остеопороз, глаукома, катаракта, язвенная болезнь) или развиваются тяжелые побочные реакции непереносимости. Препаратом выбора в настоящее время является метотрексат [C].
8. При терминальных стадиях саркоидоза следует иметь в виду пересадку легких [D].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Целью нашего исследования явилось ретроспективное изучение распространенности саркоидоза в Карелии, особенностей его течения, эффективности терапии и диспансерного наблюдения на протяжении 11-летнего наблюдения на базе Респираторного центра ГБУЗ «Республиканская больница им. В. А. Баранова». Основу нашей деятельности составили Федеральные согласительные клинические рекомендации «Диагностика и лечение саркоидоза» 2014 года и приказ Минздрава России от 28.12.2012 № 1594 «Об утверждении стандарта специализированной медицинской помощи при интерстициальных заболеваниях легких».

За 11-летний период наблюдения саркоидоз диагностирован у 464 человек. Таким образом, распространенность саркоидоза в Карелии составила 73 человека на 100 тыс. населения. Материалом нашей научной работы послужили результаты клинического, рентгенологического, лабораторного обследования и исследования показателей внешнего дыхания 401 пациента, наблюдаемого пульмонологами Респираторного центра по поводу саркоидоза органов дыхания. При первичном обращении возраст больных колебался от 18 до 75 лет (средний возраст 45,8 года). Среди них были 144 (36 %) мужчины и 257 (64 %) женщин. При первичном обращении 0 стадия была констатирована у 2 (0,5 %) больных, I стадия – у 134 (33,4 %), II стадия – у 240 (59,8 %),

III стадия – у 19 (4,7 %), IV стадия – у 5 (1,2 %) больных.

У 7,9 % (32 больных) было отмечено острое и подострое течение заболевания с развернутой картиной синдрома Лефгрена (лихорадка, узловатая эритема, артралгии, увеличение внутригрудных лимфатических узлов).

В 19,9 % случаев (80 пациентов) встретились экстраторакальные проявления саркоидоза в виде поражения кожи – 0,7 % случаев (васкулит, подкожные узелки), поражения лимфатических узлов различной локализации – 12,0 %, поражение нервной системы (нейросаркоидоз с бульбарными нарушениями, периферическая нейропатия) – 1,2 %, поражения печени – 1,2 %, поражения глаз – 1 %, поражения суставов различной локализации – 1,2 %, поражения селезенки – 0,7 %, поражения почек – 0,5 %, поражения сердца – 0,5 % случаев (констриктивный перикардит, миокардит).

Учитывая, что рентгенологическое обследование остается одним из основных методов как диагностики, так и контроля над эффективностью лечения и особенностями течения этого заболевания, всем больным проводили прямую и боковую рентгенографию, а также спиральную компьютерную томографию (СКТ) высокого разрешения при подозрении на отрицательную рентгенологическую динамику. У 56 % больных саркоидоз был верифицирован гистологически на основании исследования биоптата. В остальных случаях диагноз устанавливался на основании клинко-рентгенологических данных и исключения других заболеваний. Распределение способов постановки окончательного диагноза было следующим: видеоторакоскопия – 50,4 % случаев, трансбронхиальная биопсия – 42,8 %, открытая биопсия легких – 3,1 %, биопсия другого органа (кожа, периферический лимфатический узел) – 3,6 %. В 20,8 % (59 случаев) при гистологическом исследовании биоптата не были получены характерные гистологические признаки саркоидоза – неказеифицирующие эпителиоидноклеточные гранулемы.

При анализе сопутствующей патологии у 32 пациентов (7,9 %) выявлена гипертоническая болезнь, у 7 (1,7 %) хроническая обструктивная болезнь легких, у 5 (1,2 %) бронхиальная астма, у 12 (3 %) патологии щитовидной железы. 92 человека (23 %) являются курильщиками или курили в прошлом. У 3 человек выявлены профессиональные вредности (работа в противопожарной службе, типографии, сварщик).

Оценка показателей функции внешнего дыхания проводилась с помощью следующих методик:

1. Спирография и регистрация кривой поток – объем форсированного выдоха.
2. Регистрация кривой поток – объем форсированного выдоха с бронхолитическими

пробами. Оценивался прирост показателей форсированного выдоха на фоне ингаляции бронхолитика. В качестве фармакологического теста в течение трех различных дней применяли ингаляцию 1 мл стандартного раствора беродуала (250 мкг ипратропиума бромид и 500 мкг фенотерола гидробромида; «BoehringerIngelheim») через компрессионный небулайзер «Бореал», ингаляции сальбутамола из дозирующего баллончика (MDI вентолин (GSK), 200 мг) и ипратропиума бромид (MDI атровент «BoehringerIngelheim», 40 мг). Повторная запись параметров форсированного выдоха после беродуала и атровента производилась через 30 минут, а после сальбутамола – через 15 минут.

3. Изучение легочных объемов методом вымывания азота множественным дыханием 99 % кислородом.

4. Исследование диффузионной способности легких (DL_{CO}) методом задержки дыхания «singlebreath».

При обработке результатов мы руководствовались отечественными алгоритмами с российскими должными величинами [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Нами не выявлено строгой корреляции между типом нарушений и стадией саркоидоза (за исключением стадии IV). Так, у больных саркоидозом III стадии описаны оба вида нарушений функции внешнего дыхания – с преобладанием обструкции и с преобладанием рестрикции. Для оценки сохранности и обратимости функционального состояния легких при наблюдении и лечении наиболее информативны ФЖЕЛ (ЖЕЛ) и DL_{CO} . При саркоидозе DL_{CO} является высокоинформативным и динамичным параметром. Клеточная инфильтрация может деформировать капиллярное русло и приводить к обратимым нарушениям газообмена. Более часто нарушения диффузионной способности встречаются у больных со II, III и IV стадиями заболевания, с диссеминацией саркоидных очагов и развитием пневмофиброза [3].

Были оценены результаты функциональных тестов у 352 пациентов, исключая пациентов с диагностируемыми в анамнезе бронхиальной астмой и ХОБЛ. В 4,3 % случаев выявлены рестриктивные, в 2,3 % – обструктивные нарушения. Данные изменения были зарегистрированы у пациентов со II–IV стадиями заболевания. Снижение диффузионной способности легких выявлено у 3,7 % (снижение DL_{CO} и низкое DL_{CO}/V_a , что характерно для паренхиматозных нарушений [1]).

В нашем центре терапию по поводу гистологически подтвержденного саркоидоза получали 172 пациента (42,8 %). В 63,4 % случаев препаратом выбора являлся преднизолон, в 2,3 % – метотрексат. Длительность терапии преднизолоном

составила 12,3 месяца. У 3 пациентов проводилась пульс-терапия по поводу нейросаркоидоза с бульбарными нарушениями, нефротического синдрома, экссудативного перикардита. 6,9 % пациентов получали НПВС по поводу синдрома Лефгрена. В анамнезе у 1,5% пациентов (6 человек) проводилась туберкулостатическая терапия.

При наблюдении положительная клинико-лабораторная и рентгенологическая динамика (спонтанная регрессия и регрессия в процессе лечения) была отмечена у 233 (58,1 %) пациентов. Рецидивирующее течение отмечалось у 7,7 % пациентов. Стабилизация состояния (спонтанная, в процессе или после терапии) была достигнута у 24,2 % больных. Рецидивы заболевания через 1 год после окончания основного курса лечения или после спонтанной регрессии отмечались у 14 пациентов (9,3 % всех пациентов, получавших терапию).

ВЫВОДЫ

1. Распространенность саркоидоза в Карелии составляет 73 человека на 100 тыс. населения, что соответствует средним значениям по другим регионам РФ.
2. В структуре заболевания преобладают II–III стадии процесса.
3. У 56 % больных саркоидоз верифицируется гистологически, для получения материала на гистологическое исследование чаще всего используется метод видеоторакоскопии.

* Работа выполнена в рамках Программы стратегического развития ПетрГУ на 2013–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визель А. А., Исламова Л. В., Яушев М. Ф. и др. Особенности функционального состояния легких у больных внутригрудным саркоидозом // Пульмонология. 2001. № 43.5. С. 226.
2. Визель А. А., Амиров Н. Б., Булашова О. В. и др. К вопросу об оказании специализированной помощи больным саркоидозом // Актуальные вопросы фтизиатрии: Сб. науч. трудов под ред. проф. А. Е. Дорошенковой. Краснодар: Кубанская государственная медицинская академия, 2001. С. 114–117.
3. Визель А. А., Чучалин А. Г., Айсанов З. Р. и др. Саркоидоз. М.: Атмосфера, 2010. 58 с.
4. Визель А. А., Исламова Л. В., Амиров Н. Б. и др. Оценка влияния различных режимов лечения на клинические, лучевые и функциональные параметры у больных внутригрудным саркоидозом // Казанский медицинский журнал. 2004. № 2. С. 90–95.
5. Диагностика и лечение саркоидоза: Федеральные согласительные клинические рекомендации. М., 2014. 58 с.
6. Клемент Р. Ф. Функционально-диагностические методы исследования в пульмонологии: Метод. рекомендации. СПб., 1993. 68 с.
7. Озерова Л. В., Романов В. В., Добычина А. И. и др. Клиника и течение внелегочного саркоидоза // Проблемы туберкулеза. 1995. № 2. С. 9–11.
8. Озерова Л. В., Рыбакова Н. П., Зайцева И. П. и др. Клиника, течение и лечение рецидива саркоидоза по данным диспансерного наблюдения // Проблемы туберкулеза. 1999. № 1. С. 44–47.

Tikhonovich E. L., Republican Hospital named after. V. A. Baranov (Petrozavodsk, Russian Federation)

Vezikova N. N., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Markelova O. A., Republican Hospital named after V. A. Baranov (Petrozavodsk, Russian Federation)

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

EPIDEMIOLOGY, CLINICAL FEATURES, DIAGNOSTICS AND TREATMENT OF SARCOIDOSIS IN KARELIA

The morbidity rate of sarcoidosis observed on the territory of the Republic of Karelia is analyzed. Clinical features of the disease, diagnostic techniques, and possible ways of treatment employed by the Respiratory Center of the Republican Hospital named after

V. A. Baranov are studied. During the 11-year follow-up study sarcoidosis was diagnosed in 464 people. The prevalence of sarcoidosis in Karelia is 73 persons per 100 thousand people. The structure of the disease is dominated by 2–3 stages of the process. In 56 % of the patients sarcoidosis was verified histologically. To obtain the material the most frequently used method of videothoracoscopy was employed. Positive clinical and laboratory dynamics, and x-ray results (spontaneous regression and regression during treatment) were observed in 233 (58,1 %) patients. The relapsing course of the disease occurred in 7,7 % of the patients. Stabilization of the patient's condition (spontaneous, during or after therapy) was achievable in 24,2 % of patients. A relapse of the condition a year after the end of the course of primary treatment or after spontaneous regression was observed in 14 patients (9,3 % of all patients receiving therapy).

Key words: sarcoidosis in Karelia, prevalence, clinic, diagnostics, treatment, dispensary supervision

REFERENCES

1. V izel' A. A., Islamova L. V., Yaushev M. F. i dr. Features of the functional state of the lungs in patients with intrathoracic sarcoidosis [Osobennosti funktsional'nogo sostoyaniya legkikh u bol'nykh vnutrigrudnym sarkoidozom]. *Pul'monologiya*. 2001. № 43.5. P. 226.
2. V izel' A. A., Amirov N. B., Bulashova O. V. i dr. On the question of providing specialized care to patients with sarcoidosis [K voprosu ob okazanii spetsializirovannoy pomoshchi bol'nykh sarkoidozom]. *Aktual'nye voprosy ftiziatrit: Sbornik nauchnykh trudov pod red. prof. A. E. Doroshenkoy*. Krasnodar, Kubanskaya gosudarstvennaya meditsinskaya akademiya Publ., 2001. P. 114–117.
3. V izel' A. A., Chuchalin A. G., Aysanov Z. R. i dr. *Sarkoidoz* [Sarcoidosis]. Moscow, Atmosfera Publ., 2010. 58 p.
4. V izel' A. A., Islamova L. V., Amirov N. B. i dr. Assessing the impact of different treatment regimens on clinical, radiological and functional parameters in patients with intrathoracic sarcoidosis [Otsenka vliyaniya razlichnykh rezhimov lecheniya na klinicheskie, luchevye i funktsional'nye parametry u bol'nykh vnutrigrudnym sarkoidozom]. *Kazanskiy meditsinskiy zhurnal*. 2004. № 2. P. 90–95.
5. *Diagnostika i lechenie sarkoidoza: Federal'nye soglasitel'nye klinicheskie rekomendatsii* [Diagnosis and treatment of sarcoidosis]. Moscow, 2014. 58 p.
6. Klement R. F. *Funktsional'no-diagnosticskie metody issledovaniya v pul'monologii: Klinicheskie rekomendatsii* [Functional-diagnostic methods of the research in pulmonology]. St. Petersburg, 1993. 68 p.
7. Ozerova L. V., Romanov V. V., Dobychina A. I. i dr. Clinical picture of extra pulmonary sarcoidosis [Klinika i techenie vnelegochnogo sarkoidoza]. *Problemy tuberkuleza*. 1995. № 2. P. 9–11.
8. Ozerova L. V., Rybakova N. P., Zaytseva I. P. i dr. Clinical picture, the course of treatment, and a relapse of sarcoidosis according to clinical supervision [Klinika, techenie i lechenie retsidiva sarkoidoza po dannym dispansernogo nablyudeniya]. *Problemy tuberkuleza*. 1999. № 1. P. 44–47.

Поступила в редакцию 13.07.2015

ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ ВАСЕНДИН

кандидат медицинских наук, доцент кафедры техносферной безопасности Института кадастра и природопользования, Сибирский государственный университет геосистем и технологий (Новосибирск, Российская Федерация)
vasendindv@gmail.com

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ТЕРАПИИ ОЖИРЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Рассматривается актуальная проблема современной медицинской и биологической науки – анализ существующих методов и способов терапии хронического заболевания, к вопросам профилактики и лечения которого обращено пристальное внимание исследователей и клиницистов, – ожирения. Заболевание приобрело выраженную социальную значимость в силу его распространенности в человеческой популяции. Дан обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященной проблеме терапии ожирения. Учитывая, что излечить ожирение имеющимися в настоящее время фармакологическими препаратами практически невозможно, сегодняшняя фармакотерапия по существу носит вспомогательный характер и эффективна в сочетании с диетическим, психотерапевтическими и в ряде случаев хирургическими методами лечения, осуществляемыми под квалифицированным медицинским контролем.

Ключевые слова: ожирение, фармакологическая коррекция, лечение, патогенетическая терапия

По данным Всемирной организации здравоохранения, более миллиарда людей на планете имеют лишний вес. Эта проблема затронула все слои населения независимо от социальной и профессиональной принадлежности, возраста и пола, региона проживания. В настоящее время ожирение является одним из самых распространенных метаболических нарушений у взрослого населения, особенно в экономически благополучных странах, где ожирением страдают 25–30 % населения. В некоторых регионах Восточной Европы доля полных людей уже достигла 35 %. Проблема избыточного веса актуальна даже для стран, в которых немалая часть населения голодает. В России в среднем 30 % лиц трудоспособного возраста имеют ожирение и 25 % – избыточную массу тела. Больше всего тучных людей в США: в стране избыточная масса тела зарегистрирована у 60 % населения, а не менее 27 % страдают ожирением. Повсеместно наблюдается рост частоты ожирения у детей и подростков [5]. В связи с этим ВОЗ рассматривает это заболевание как пандемию, охватывающую многие миллионы людей [14].

Ожирение, помимо того, что само по себе вызывает серьезные метаболические нарушения, в большинстве случаев предрасполагает к развитию тяжелых заболеваний, таких как заболевания печени, атеросклероз, ишемическая болезнь сердца, инсулиннезависимый сахарный диабет (ИНСД), эндокринные болезни и ряд других [3], [12]. Уже не вызывает сомнения, что гипертоническая болезнь, дислипидемия, атеросклероз и инсулиннезависимый сахарный диабет имеют причинную связь с ожирением. Или, другими словами, определен-

ные изменения в регуляции метаболизма и в самом метаболизме, закономерно возникающие и развивающиеся при ожирении, ведут к развитию ассоциированной с ожирением патологии. В этом убеждают нас и эпидемиологические исследования, показывающие, что у людей с избыточным весом риск развития перечисленных выше заболеваний значительно превосходит таковой у лиц с нормальной массой тела [8], [11]. Давно известно, что если эти заболевания уже имеются, то успешное снижение избыточной массы тела позволяет уменьшить их проявления, улучшить контроль или добиться ремиссии [36]. Действительным прогрессом в наших представлениях о механизмах, ведущих к развитию этих заболеваний при ожирении, явилась разработка концепции метаболического синдрома (МС) (синдрома инсулинрезистентности, или синдрома-X).

Согласно современным представлениям, к МС можно отнести артериальную гипертензию (АГ), дислипидемию, атеросклероз и ишемическую болезнь сердца (ИБС), а также ИНСД [12].

В 2005 году Международный диабетический фонд (IDF) пересмотрел критерии МС. В Консенсусе IDF был сделан выраженный акцент на центральном ожирении как основной характеристике МС и были изложены более низкие критерии диагностики центрального ожирения и нарушений углеводного обмена [31]. Согласно критериям IDF, МС – это центральное ожирение (для лиц европеоидной расы окружность талии у мужчин более или равна 94 см, у женщин более или равна 80 см, для представителей других расовых групп используются этнически специфические величины) в сочетании с двумя или более из следующих

признаков: повышение систолического АД более 130 мм рт. ст., диастолического АД более 80 мм рт. ст. или проведение антигипертензивной терапии; повышение уровня ТГ более 1,7 ммоль/л или проведение специфического лечения; снижение уровня ХС ЛПВП менее 1,03 ммоль/л для мужчин и менее 1,29 ммоль/л для женщин или проведение специфического лечения; уровень глюкозы плазмы крови натощак более 5,6 ммоль/л или уже диагностированный СД 2-го типа. Такое объединение подчеркивает наличие общих патогенетических закономерностей в развитии этих видов патологии и открывает новые возможности в профилактике и лечении как самих заболеваний, так и их осложнений.

Голодание как метод лечения ожирения в настоящее время не применяется в связи с тем, что велик риск развития осложнений (аритмии, нарушения психики, гиповитаминозы с явлениями полиневрита, поражениями кожи и волос). Длительные наблюдения за больными показали, что при возобновлении питания, как правило, отмечается интенсивное увеличение веса [7]. Основу диетотерапии ожирения составляет сбалансированное рациональное гипокалорийное питание. С помощью диетотерапии снижается избыточная масса как общей жировой ткани, так и абдоминально-висцеральной жировой ткани, избыток которой наиболее часто провоцирует развитие осложнений. Рекомендуется постепенное, длительное изменение характера питания, пищевых привычек, а не временное ограничение употребления каких-либо продуктов или их групп. В основе диетотерапии, как и любого метода лечения ожирения, лежит создание энергодифицита в организме. Снижение поступления энергии (в особенности жиров с пищей) приводит к сокращению объема жировых депо, так как в обменные процессы включаются жирные кислоты из адипоцитов, что улучшает физиолого-метаболические показатели у больных. В последние годы появляется все больше сторонников постепенного снижения калорийности суточного рациона, пороговым значением которого считается 1200 ккал для женщин и 1500 ккал для мужчин. Существует мнение, что большой энергодифицит оказывает негативное воздействие на центральные структуры, участвующие в регуляции аппетита, чувства голода и насыщения, приводит к нежелательной потере массы тела. Если первичное всестороннее обследование выявляет те или иные осложнения, в рекомендациях по питанию необходимо учитывать коррекцию липидного и углеводного обмена, а также артериального давления. Индивидуальный расчет калорийности суточного рациона проводится по формуле ВОЗ с учетом массы тела, пола, возраста и физической активности пациента. Для женщин: 18–30 лет $(0,0621 \times \text{масса в кг} + 2,0357) \times 240$; 31–60 лет $(0,0342 \times \text{масса в кг} + 3,5377) \times 240$; старше 60 лет $(0,0377 \times$

$\text{масса в кг} + 2,7545) \times 240$; для мужчин: 18–30 лет $(0,0630 \times \text{масса в кг} + 2,8957) \times 240$; 31–60 лет $(0,0484 \times \text{масса в кг} + 3,6534) \times 240$; старше 60 лет $(0,0491 \times \text{масса в кг} + 2,4587) \times 240$. При минимальной физической нагрузке полученный результат остается без изменения. При среднем уровне физической активности умножают на коэффициент, равный 1,3, при высоком уровне – на 1,5.

В целях создания отрицательного энергетического баланса суточная калорийность уменьшается на 500 ккал, при этом для женщин она должна быть не менее 1200 ккал/сут, для мужчин – 1500 ккал/сут. Такой дефицит энергии обеспечит снижение массы тела на 0,5–1 кг в неделю. Если же исходная суточная калорийность питания составляла 3000–5000 ккал, проводится постепенное ее уменьшение (максимально на 20 %). После снижения массы тела на 10–15 % пересчитывают суточную калорийность – необходимо для последующего удержания достигнутого результата в течение 6–9 месяцев [10]. Рекомендуется дробный прием пищи (не менее 4 раз в день), употребление продуктов, содержащих большое количество балластных веществ, особенно свежих овощей и фруктов, ограничение продуктов, содержащих быстроусвояемые углеводы (особенно при нарушениях углеводного обмена), богатые жиром продукты.

Большое внимание уделяют распределению калоража в течение дня: основной объем пищи приходится на первую половину дня, а на ужин оставляют не более 15–20 % от рассчитанного количества. Потребление холестерина с пищей на протяжении всего лечения необходимо ограничить до 250–300 мг в сутки, а приоритет потребляемых жиров сместить в сторону моно- и полиненасыщенных жирных кислот, так как часто у больных ожирением имеются два и более факторов риска ИБС. При необходимости коррекции артериального давления целесообразно ограничение потребления хлорида натрия до 5 г в сутки.

Следует признать, что больные ожирением очень часто плохо придерживаются рекомендаций резко изменить свои пищевые привычки, чувствуют неудовлетворенность и недовольство и, в конечном итоге, вновь прибавляют в весе. Поэтому целесообразно постепенное, длительное изменение характера питания и пищевых пристрастий, а не временное ограничение употребления определенных продуктов питания. При проведении немедикаментозного лечения в большинстве случаев применяют методику умеренного поэтапного снижения веса, в рамках которой выделяют три основных этапа. На первом этапе лечения (с 1-го по 6-й месяц) добиваются снижения веса примерно на 10 % от исходной величины. На втором этапе лечения (с 7-го по 12-й месяц) поддерживают вес на таком уровне, чтобы он был на 5–10 % ниже исходного; на этом этапе

не следует стремиться к дальнейшему снижению массы тела в связи со снижением основного обмена, которое происходит через 6 месяцев с момента начала лечения ожирения; попытка форсировать снижение веса на этом этапе вызывает столь значимое уменьшение основного обмена, что у пациентов развивается рецидив ожирения. На третьем этапе лечения (через 1 год с начала лечения, когда основной обмен веществ стабилизируется на достигнутом новом уровне) добиваются дальнейшего уменьшения массы тела. Существуют и другие рекомендации по диетотерапии при ожирении: диета Эткинса, белковая диета (диета Zone), вегетарианская диета Орниша и даже диета, предусматривающая питание пациента в зависимости от его группы крови. Недостатками всех этих видов диетотерапии является то, что они не были опробованы в многоцентровых клинических исследованиях, а при их соблюдении наблюдались существенные побочные эффекты. Эффективность различных видов диетотерапии ожирения оценивалась специалистами, составляющими Национальный реестр коррекции массы тела (США). Были проанализированы 3000 случаев успешного немедикаментозного лечения ожирения. Оказалось, что в 98,1 % случаев успех в лечении ожирения был достигнут у больных, соблюдавших низкокалорийную диету, в 0,9 % – у пациентов, придерживавшихся диеты Эткинса, и в 1 % – при остальных видах диетического лечения [1]. Комбинирование диеты с нагрузками в течение полугода способно обеспечить снижение массы тела при ожирении на 5–10 %. Часто пациенты считают такой эффект «незначимым», но он, однако, благоприятно влияет на многие ассоциирующиеся с избыточным питанием клинические состояния, повышая, в первую очередь, качество жизни больных.

Для увеличения расхода энергии особое внимание уделяется расширению аэробной физической активности. Оптимальным видом физической нагрузки, применяемой для лечения ожирения, является динамическая аэробная нагрузка. Наиболее эффективны для снижения массы тела бег, плавание, езда на велосипеде, занятия аэробикой, лыжные тренировки. Вне сомнений, самым простым, доступным и эффективным видом физической нагрузки является ходьба. Начинать физические тренировки следует с ходьбы в среднем темпе – 100 шагов в минуту. Продолжительность таких тренировок составляет 30 минут, а их периодичность – 3–4 раза в неделю. Постепенно интенсивность нагрузки увеличивают: темп ходьбы доводят до высокого (160 шагов в минуту), продолжительность – до 45–60 минут, периодичность – до 1 раза в день. Такой объем физической активности позволяет увеличить энергозатраты на 200–300 ккал в сутки [1], [7], [10]. Регулярная физическая нагрузка повышает затраты энергии, под их воздействием

происходят изменения в композиционном составе тела: увеличивается мышечный компонент и уменьшается жировая масса, а также ОТ и ОТ/ОБ. Но, как показывают зарубежные и отечественные исследования, физические упражнения без снижения калорийности суточного рациона имеют незначительное влияние на снижение как массы тела в целом, так и массы АВЖТ. Так, по данным J.-P. Despres и соавт., применение в течение 14 месяцев только аэробных физических упражнений у женщин пременопаузального возраста с ожирением привело к снижению жировой массы в среднем только на 4,6 кг. У мужчин влияние силовых нагрузок без диетотерапии в течение 27 недель дало еще меньший результат (жировая масса снизилась лишь на 2,4 кг). Известно, что при интенсивной ходьбе в течение 45–60 минут 4 раза в неделю затрачивается до 1000 ккал за неделю, что приводит к снижению массы тела на 0,15 кг. До сих пор нет четких рекомендаций, какой вид упражнений более предпочтителен при ожирении. Тем не менее при планировании и осуществлении длительных программ лечения ожирения включение физических упражнений необходимо – они помогают предотвратить нарастание веса и поддержать достигнутые результаты. Данные выводы были получены в ходе нескольких рандомизированных исследований. Большая часть пациентов, получавших диетотерапию в сочетании с комплексом физических упражнений, удерживали снижение массы тела в течение 1 года после лечения в сравнении с теми, кто лечился только диетой (хотя данные результаты были не всегда статистически значимы). Понятие «физическая активность» предполагает как занятия конкретными физическими упражнениями, так и изменение образа жизни в целом. Изменение образа жизни в целом подразумевает всестороннюю физическую активность, в том числе увеличение энергозатрат в течение всего дня любыми доступными способами. R. Andersen с соавт. выявили, что всестороннее увеличение физической активности в комбинации с диетотерапией приводит к снижению массы тела в среднем на 8 кг в течение 16 недель. Пациенты, занимавшиеся локальными физическими упражнениями без изменения образа жизни в целом, показали худший результат в поддержании достигнутых результатов в сравнении с теми, кто полностью изменил свой образ жизни: набор массы тела в течение 1 года составил в среднем 1,6 кг и 0,08 кг соответственно. К сожалению, несмотря на доказанную эффективность сочетания диетотерапии с повышением физической активности, только 20 % пациентов, стремящихся снизить массу тела, используют эти лечебные подходы одновременно [23].

Помимо диетотерапии и увеличения физической нагрузки, для успешного лечения ожирения необходимо изменить пищевое поведение паци-

ента. Ожирение очень часто сопровождается различными видами нарушения пищевого поведения. В связи с тем что эти изменения касаются в основном контроля над поведенческими реакциями, в идеале управление пищевым поведением необходимо проводить при участии психоневролога. Немедикаментозное лечение ожирения не может быть успешным без адекватной поведенческой терапии. Последняя предусматривает создание у пациента мотивации на снижение веса, ориентацию больного на пожизненное выполнение программы борьбы с ожирением, самоконтроль с ведением дневника веса, питания и режима физической активности, ограничение приема препаратов, способствующих повышению веса, лечение половой дисфункции и депрессивных нарушений, борьбу со стрессом, «седиментарным» образом жизни, соблюдение правил приема пищи и другие мероприятия [4]. Результаты опубликованных исследований свидетельствуют, что взрослые пациенты с ожирением могут еженедельно терять около 0,5 кг массы тела при уменьшении дневного потребления пищевых продуктов на 500–1000 ккал от исходного уровня. Более серьезное ограничение питания с применением низкокалорийных диет позволяет ускорить снижение массы тела, но практически не влияет на долговременные результаты диетотерапии [23]. С другой стороны, сочетание ограничительных диет с повышением физической активности делает поддержание снижения массы тела в течение длительного периода более вероятным, хотя на первом этапе физические нагрузки лишь минимально усиливают эффект уменьшения калорийности питания [27]. Практический опыт свидетельствует, что снижение массы тела, достигаемое с использованием немедикаментозных методов, в большинстве случаев достаточно сложно удержать, и вес пациентов постепенно возвращается к исходному уровню или даже начинает превышать его. Как справедливо отмечает М. Т. McGuire с соавт., с использованием только лишь немедикаментозных методов лечения ожирения в большинстве случаев трудно добиться снижения массы тела, а поддержание достигнутого эффекта представляется еще более трудной задачей [27].

До относительно недавнего времени ожирение рассматривалось как следствие или невоздержанности, или даже психопатологии, не поддающееся специфическому медикаментозному лечению. Появившиеся в 1960-е годы методы лечения ожирения, базирующиеся на изменении образа жизни, вселили надежду, что модификация питания, уменьшение или отказ от употребления алкоголя, обязательное использование физических упражнений могут обеспечить непрерывное снижение массы тела и долговременное поддержание преследуемого эффекта [14]. При этом фармакологическим препаратам отводилась

лишь роль непродолжительно назначаемых дополнительных средств, используемых преимущественно пациентами, стремящимися добиться «идеальной массы тела», – такой подход был признан неэффективным и решительно неоправданным [25]. Первые публикации о лечении ожирения фармакопрепаратами появились еще в 1893 году. Тогда для снижения массы тела впервые стали применять вытяжку из ткани щитовидной железы животных. Но клинический опыт показал, что при длительном применении в больших дозах препарат вызывал гипертиреозидизм и повышение аппетита. При этом эффективность лечения оставалась очень низкой. Поиски новых лекарственных форм привели к появлению в 1933 году динитрофенола. Однако его длительное применение осложнялось развитием катаракты и полинейропатии. Прорывом в лечении ожирения явился синтез в 1937 году нового препарата амфетамина (α -метил- β -фенэтиламин), подавляющего аппетит. Но вскоре было отмечено, что препарат обладает высокой способностью вызывать выраженную лекарственную зависимость. К настоящему времени анорексические средства – производные β -фенэтиламина из группы адрениргических препаратов (амфетамин, фендиметразин) – не разрешены для лечения ожирения из-за их серьезных побочных действий: лекарственной зависимости, нервного возбуждения, депрессии, бессонницы, запоров, повышения АД, тахикардии и т. д. [17]. Ситуация коренным образом изменилась в 1992 году после публикации результатов серии исследований Weintraub и соавт., свидетельствующих о хорошей эффективности комбинации немедикаментозных методов лечения ожирения с двумя препаратами, обладающими различным механизмом действия, – фенфлурамином и фентермином («phen-fen») [18]. Было показано, что проводящаяся на регулярной основе фармакотерапия способна обеспечить непрерывное снижение массы тела в течение 3,5 года. Такой подход базировался на достаточно простой схеме, в соответствии с которой при ожирении, как и при любом ином хроническом заболевании, заметный терапевтический эффект может быть достигнут лишь при длительном применении лекарственных средств. Более того, новый подход подкреплялся нежеланием большинства больных неопределенно долго переносить серьезные ограничения, накладываемые на их образ жизни немедикаментозными методами лечения ожирения. Имеются основания полагать, что пролонгированный прием лекарств может повысить приверженность больных с ожирением к диетотерапии и модификации их поведения, необходимым для длительного поддержания планируемого терапевтического эффекта. Последующие события – отзыв с фармацевтического рынка фенфлурамина и близкого ему дексфенфлурамина, обусловленный утяжелением кардиоме-

табалического риска, — уменьшили энтузиазм в отношении медикаментозной терапии ожирения, но не перечеркнули ее основополагающую идею — необходимость длительного назначения. В настоящее время фармакотерапия используется при ожирении в качестве дополнительного метода на фоне немедикаментозных методов лечения. Фармакотерапия показана, в первую очередь, больным с высоким риском ассоциирующихся с избыточной массой тела патологических состояний и при неэффективности адекватно проводимого немедикаментозного лечения [29]. Использование тиреоидных гормонов, мочегонных препаратов, вытяжек из гипофиза ушло в далекое прошлое [24]. Препараты для лечения ожирения обязательно должны иметь достаточно хорошо изученные механизмы действия, быть безопасными при длительном применении и иметь минимум побочных эффектов [2]. Все фармацевтические препараты для лечения ожирения представляются возможным классифицировать по механизму действия: 1) снижающие потребление пищи — препараты центрального действия (фентермин, фенфлурамин (минифаж), дексфенфлурамин (изолипан), сибутрамин (меридиа)); 2) увеличивающие расход энергии (термогенные симпатомиметики (эфедрин), кофеин, сибутрамин (меридиа)); 3) уменьшающие всасывание питательных веществ — препараты периферического действия (орлистат (ксеникал)). Ранее для лечения ожирения в основном использовались препараты, действующие на центральную нервную систему путем усиления секреции и/или торможения обратного захвата нейромедиаторов (серотонина и норадреналина) в пресинаптических окончаниях гипоталамических ядер, — фентермин, мазиндол и близкий по механизму действия к фентермину фенилпропаноламин. Фентермин и мазиндол отнесены к группе адренергических препаратов. Их действие основано на усилении секреции (фентермин) или частичной блокаде обратного захвата (мазиндол) норадреналина в латеральном отделе гипоталамуса, что приводит к увеличению концентрации норадреналина в синаптической щели и сопровождается стимуляцией адренорецепторов и торможением потребления пищи. Определенный вклад в усиление подавления чувства голода вносит частичная блокада фентермином обратного захвата дофамина в тех же отделах центральной нервной системы, однако это может приводить к развитию зависимости. Мазиндол не обладает подобным действием и благодаря этому практически не вызывает зависимости. Среди основных побочных эффектов отмечаются бессонница, нервно-эмоциональное возбуждение, диспепсические расстройства. Препараты для длительного применения не разрешены. Фенилпропаноламин по механизму действия близок к фентермину, однако он не влияет на обратный захват дофамина и, следовательно, не вызывает привыкания.

В настоящее время во многих странах (Россия не входит в их число) его используют для лечения ожирения. Длительных исследований его эффективности не проводилось. В краткосрочных плацебо-контролируемых испытаниях отмечались слабые временные побочные эффекты, а при применении препарата в дозе более 75 мг/сут, особенно в сочетании со стимулятором центральной нервной системы кофеином, наблюдалось повышение величины артериального давления. Фенфлурамин и его D-изомер дексфенфлурамин являются серотонинергическими препаратами. Их действие обусловлено усилением секреции серотонина (преимущественно в гипоталамусе). Препараты широко использовались с 1985 года в 65 странах мира. Среди побочных эффектов отмечались сухость в полости рта, диарея, повышенная утомляемость, полиурия, сонливость. В 1997 году фенфлурамин и дексфенфлурамин были отозваны из продажи по причине развития на фоне их применения первичной легочной гипертензии и высокой степени кардиометаболического риска. В настоящее время флуоксетин является препаратом выбора для лечения ожирения у больных с депрессией, которым требуются одновременно антидепрессант и препарат для снижения массы тела. Флуоксетин является селективным ингибитором обратного захвата серотонина. Для лечения ожирения препарат не используется, так как при длительном наблюдении (12 месяцев) для достижения снижения массы тела требовались дозы, в 2–3 раза превышающие средние терапевтические дозы антидепрессантов. Заметный эффект при этом наблюдался только в течение 6 месяцев, а затем происходило обратное увеличение массы тела, несмотря на продолжающееся лечение. Был выявлен целый ряд побочных эффектов — астения, повышенная потливость, нервное возбуждение, тремор, сексуальные дисфункции [16].

В Российской Федерации в качестве лекарственных средств для лечения ожирения зарегистрированы орлистат 120 мг и сибутрамин [15]. Среди представителей группы препаратов центрального действия, способствующих быстрому появлению чувства насыщения и уменьшающих аппетит, широкое практическое применение при длительной терапии ожирения нашел лишь препарат сибутрамин, обладающий, как известно, смешанным норадренергическим/серотонинергическим действием. Известны случаи назначения пациентам норадренергических аноректиков, но их применяют при кратковременной терапии. Так, например, на американском рынке присутствуют норадренергические препараты фентермин, диэтилпропион, фендиметразин и бензфетамин. Из-за риска развития привыкания продолжительность применения каждого из них не должна превышать 12 недель [30], хотя в плацебо-контролируемых исследованиях безопас-

ности эти препараты использовались в течение 6 месяцев и более [19]. В этих работах показано, что норадренергические препараты вызывают постоянное, но умеренное снижение массы тела. К их побочным эффектам относят бессонницу, сухость во рту, запор, эйфорию, сердцебиение и артериальную гипертензию. Противопоказаниями к применению указанных препаратов являются артериальная гипертензия, сердечно-сосудистые заболевания, гипертиреоз, глаукома, нервно-психическое возбуждение, лекарственная зависимость в анамнезе [30].

В настоящее время к медицинскому применению по многим показаниям, прямо не связанным с терапией ожирения, разрешены селективные ингибиторы обратного захвата серотонина. Они, в частности, используются в психиатрии для лечения обсессивно-компульсивных расстройств. В непродолжительных исследованиях некоторые из этих препаратов вызвали снижение массы тела. Наиболее тщательно в этом плане оценивался флуоксетин. Было обнаружено, что при применении продолжительностью до 6 месяцев препарат снижал массу тела по сравнению с плацебо, но в течение следующих 6 месяцев на фоне продолжающегося приема флуоксетина вес пациентов возвращался к исходному уровню [20]. Другой ингибитор обратного захвата серотонина – сертралин – также не продемонстрировал способности поддерживать снижение массы тела при длительном применении. Из всей группы центрально действующих средств для снижения массы тела только сибутрамин применяется сегодня (в сочетании с низкокалорийной диетой) как для снижения веса, так и его длительного поддержания на сниженном уровне. Сибутрамин и его активные метаболиты ингибируют обратный захват серотонина и норадреналина, пролонгируя таким образом взаимодействие этих нейротрансмиттеров с их постсинаптическими рецепторами [29]. Одновременно препарат является слабым ингибитором обратного захвата дофамина. В отличие от фенфлурамина и дексфенфлурамина, сибутрамин не усиливает высвобождение серотонина и не вызывает кардиометаболических нарушений [26]. Сибутрамин назначается по 5–15 мг 1 раз в сутки. Если в результате 3-месячного курса лечения не удастся снизить массу тела на 5 %, терапию сибутрамином следует прекратить. Продолжительность лечения не должна превышать 1 года, так как вопрос о безопасности и эффективности сибутрамина при более длительном применении требует дальнейшего изучения. Плацебо-контролируемые клинические исследования свидетельствуют, что в результате 6-месячного приема сибутрамина на фоне низкокалорийной диеты масса тела у большинства пациентов снижается на 5–8 % (на 1–4 % в группе плацебо) [13]. Имеются также данные, подтверждающие эффективность сибутрамина при применении в

течение года [6]. В одном из исследований [15] больные ожирением, у которых 6-месячный курс сибутрамина (10 мг/день) приводил к снижению массы тела более чем на 5 %, были рандомизированы к продолжению приема этого препарата или плацебо в течение 18 месяцев. Хотя в период второго года наблюдения в обеих группах отмечалось возрастание массы тела по сравнению с достигнутым в результате 6-месячной терапии уровнем, продолжительное применение сибутрамина обеспечивало лучший контроль за весом больных. У более чем 25 % пациентов, принимавших этот аноректик, удавалось поддерживать снижение массы тела в течение всего срока исследования. Снижение массы тела, достигнутое с помощью одной низкокалорийной диеты, также удавалось поддерживать с помощью сибутрамина. Помимо снижения массы тела, лечение сибутрамином ассоциируется с благоприятным воздействием на другие метаболические факторы риска, такие как гиперлипидемия и гиперурикемия. При сахарном диабете 2-го типа препарат улучшает гликемический контроль, позитивно влияет на уровень инсулина в плазме крови [15]. В целом сибутрамин хорошо переносится больными. К его наиболее значимым побочным эффектам относятся артериальная гипертензия и увеличение частоты сердечных сокращений. Однако эти явления обычно умеренно выражены и требуют отмены препарата не более чем у 5 % больных [13]. Следует учитывать, что лечение сибутрамином может сопровождаться снижением эффективности антигипертензивной терапии. К другим побочным реакциям, наблюдаемым при приеме сибутрамина, относят сухость во рту, головную боль, бессонницу и запор [17].

Терапевтическое действие другого известного клиницистам препарата – орлистата – обусловлено его способностью связывать липазы в просвете кишечника, что блокирует гидролиз пищевого жира (триглицеридов) до абсорбируемых свободных жирных кислот и моноацилглицеринов, предупреждая их поступление в системный кровоток. У пациентов, принявших с пищей или в течение 1 часа после еды по 120 мг орлистата (обычная терапевтическая дозировка), со стулом в неизменном виде экскретируется приблизительно 1/3 пищевого жира, что ведет к уменьшению калорийности питания [29]. В двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании орлистат, назначавшийся в течение 1 года, снижал массу тела у больных ожирением в среднем на 9 % против 5,8 % в группе плацебо [30]. Препарат способен замедлять скорость прироста массы тела в течение второго года применения. В плацебо-контролируемых исследованиях различие между группами пациентов по этому показателю составляло около 2,5 кг [22]. Важно подчеркнуть, что в продолжительных исследованиях применение ассоциирова-

лось с умеренным снижением диастолического артериального давления, концентрации инсулина натощак, уровней общего холестерина и холестерина фракции липопротеинов низкой плотности [28]. Анализ полученных данных свидетельствует, что гипохолестеринемическое действие орлистата не зависело от его способности снижать массу тела. При сахарном диабете 2-го типа прием орлистата способствовал небольшому, но статистически значимому снижению веса больных. Этим, однако, его терапевтическое действие не ограничивалось. Препарат нормализовал уровень гликозилированного гемоглобина и снижал потребность пациентов в приеме производных сульфонилмочевины [24]. Побочные эффекты орлистата включают расстройства со стороны органов желудочно-кишечного тракта: метеоризм, частые позывы к дефекации, недержание кала, стеаторею. Обычно эти явления носят легкий или умеренный характер, их частота снижается по мере возрастания продолжительности лечения, однако почти в 9 % случаев они становятся причиной отмены орлистата. Кроме того, этот препарат снижает абсорбцию жирорастворимых витаминов, в первую очередь витамина D, что делает обязательным дополнительный прием поливитаминов. Последние должны назначаться не менее чем за 2 часа до приема орлистата или через 2 часа после него. Противопоказаниями к применению орлистата являются хронические нарушения кишечного всасывания и холестаза. При назначении препарата важно учитывать его взаимодействие с циклоспорином [30].

Абсолютное большинство пищевых добавок и фитопрепаратов, предлагаемых для снижения массы тела, не обладают доказанной эффективностью, а те немногие из них, эффективность

которых подтверждена в рандомизированных плацебо-контролируемых исследованиях, далеко небезопасны из-за риска развития тяжелых и плохо прогнозируемых побочных реакций [21]. Это не позволяет рекомендовать существующие на сегодняшний день растительные средства для включения в программы по снижению избыточной массы тела.

Важно подчеркнуть, что лекарственная терапия, направленная на снижение массы тела, во всех случаях должна проводиться на фоне немедикаментозных методов борьбы с ожирением, включающих ограничительные диеты и увеличение физических нагрузок. Лекарственная терапия не рекомендуется детям, при беременности и лактации, а также лицам старше 65 лет, поскольку в этих группах практически не изучены эффективность и безопасность применения препаратов для лечения ожирения. Не рекомендуется одновременный прием нескольких препаратов со сходным механизмом действия. При решении вопроса о необходимости хирургического вмешательства при ожирении учитываются следующие обстоятельства: социально-психологические осложнения в самочувствии больного; его глубокая эстетическая неудовлетворенность; неизбежность операции по жизненным показаниям при морбидном ожирении (синдром ночных апноэ). Таким образом, для достижения максимальной эффективности в лечении ожирения необходим индивидуальный комплексный подход, в основе которого лежит тщательное обследование больного, сочетание диетотерапии, модификации образа жизни, фармакологической поддержки, а также всесторонний врачебный контроль и самоконтроль над избыточной массой тела в течение всей жизни пациента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессесен Д. Г., Кушнер Р. Избыточный вес и ожирение. Профилактика, диагностика и лечение. М.: Бином, 2006. 240 с.
2. Бутрова С. А. Сибутрамин в лечении ожирения // Российский медицинский журнал. 2001. Т. 9. № 9. С. 348–351.
3. Васендин Д. В. Структурно-функциональные изменения в печени при ожирении (обзор литературы) // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 8 (145). Т. 2. С. 57–62.
4. Вознесенская Т. Г., Вахмистров А. В. Клинико-психологический анализ нарушений пищевого поведения при ожирении // Журнал невропатологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2001. № 12. С. 19–24.
5. Маскова Г. С., Черная Н. Л., Нечаева Т. Н., Баярова С. А. Особенности клинико-функционального и метаболического статуса у детей и подростков с ожирением в возрастном аспекте // Профилактическая и клиническая медицина. 2014. Т. 53. № 4. С. 92–96.
6. Мельниченко Г. А. Ожирение в практике эндокринолога // Российский медицинский журнал. 2001. Т. 9. № 2. С. 82–87.
7. Ожирение: этиология, патогенез, клинические аспекты: Руководство для врачей / Под ред. И. И. Дедова, Г. А. Мельниченко. М.: МИА, 2004. 456 с.
8. Панова Е. И., Мартышина О. В., Данилов В. А. Ассоциированная с ожирением патология: частота, характер и некоторые механизмы формирования // Современные технологии в медицине. 2013. Т. 5. № 2. С. 108–115.
9. Романцова Т. И. Эпидемия ожирения: очевидные и вероятные причины // Ожирение и метаболизм. 2011. № 1. С. 5–19.
10. Савельева Л. В. Современная концепция лечения ожирения // Ожирение и метаболизм. 2011. № 1. С. 51–56.
11. Усенко Г. А., Усенко А. Г., Васендин Д. Н., Нишета О. В., Машков С. В., Величко Н. П., Козырева Т. Ю. Липиды крови, ожирение и уровень осложнений гипертонической болезни в зависимости от психосоматических особенностей пациента и лечения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 11: Медицина. 2014. № 1. С. 133–141.
12. Чазова Е. И., Мычка В. Б. Метаболический синдром. М.: Media Medica, 2004. 168 с.

13. Bach D. S., Rissanen A. M., Mendel C. M., Shepherd G., Weinstein S. P., Kelly F., Seaton T. B., Patel B., Pekkarinen T. A., Armstrong W. F. Absence of cardiac valve dysfunction in obese patients treated with sibutramine // *Obes. Res.* 1999. № 7. P. 363–369.
14. Blackburn G. Effect of degree of weight loss on health benefits // *Obes. Res.* 1995. № 3. P. 211–216.
15. Bray G. A., Blackburn G. L., Ferguson J. M., Greenway F. L., Jain A. K., Mendel C. M., Ryan D. H., Schwartz S. L., Scheinbaum M. L., Seaton T. B. Sibutramine produces dose-related weight loss // *Obes. Res.* 1999. № 7. P. 189–198.
16. Bray G. A. Clinical evaluation and introduction to treatment of overweight // *Contemporary Diagnosis and Management of Obesity*. 1998. P. 131–166.
17. Bray G. A. Evaluation of drugs for treating obesity // *Obes Res.* 1995. № 3. P. 425–434.
18. Bray G. A., Greenway F. L. Current and potential drugs for treatment of obesity // *Endocr. Rev.* 1999. № 20. P. 805–875.
19. Connolly H. M., Crary J. L., McGoon M. D., Hensrud D. D., Edwards B. S., Edwards W. D., Schaff H. V. Valvular heart disease associated with fenfluramine-phenentermine // *New Engl. J. Med.* 1997. № 337. P. 581–588.
20. Connolly H. M., McGoon M. D. Obesity drugs and the heart // *Curr. Probl. Cardiol.* 1999. № 24. P. 745–792.
21. Davidson M. H., Hauptman J., DiGirolamo M., Foreyt J., Halstead C. H., Heber D., Heimbarger D. C., Lucas C. P., Robbins D. C., Chung J., Heymsfield S. B. Weight control and risk factor reduction in obese subject treated for 2 years with orlistat: a randomized controlled trial // *JAMA*. 1999. № 281. P. 235–242.
22. Finer N., Bloom S. R., Frost G. S., Banks L. M., Griffiths J. Sibutramine is effective for weight loss and diabetic control in obesity with type 2 diabetes: a randomised, double-blind, placebo-controlled study // *Diabetes Obes. Metab.* 2000. № 2. P. 105–112.
23. From the Centers for Disease Control and Prevention: update: prevalence of overweight among children, adolescents, and adults – United States 1988–1994 // *JAMA*. 1997. P. 277–1111.
24. Heck A. M., Yanovski J. A., Calis K. A. Orlistat, a new lipase inhibitor for the management of obesity // *Pharmacotherapy*. 2000. № 20. P. 270–279.
25. Yanovski S. Z., Yanovski J. A. Obesity // *New Engl. J. Med.* 2002. № 346. P. 591–602.
26. Kernan W. N., Viscoli C. M., Brass L. M., Broderick J. P., Brott T., Feldmann E., Morgenstern L. B., Wilterdink J. L., Horwitz R. I. Phenylpropanolamine and the risk of hemorrhagic stroke // *New Engl. J. Med.* 2000. № 343. P. 1826–1832.
27. Khan L. K., Serdula M. K., Bowman B. A., Williamson D. F. Use of prescription weight loss pills among U.S. adults in 1996–1998 // *Ann. Intern. Med.* 2001. № 134. P. 284–286.
28. McGuire M. T., Wing R. R., Klem M. L., Hill J. O. Behavioral strategies of individuals who have maintained long-term weight losses // *Obes. Res.* 1999. № 7. P. 334–341.
29. National Task Force on the Prevention and Treatment of Obesity. Overweight, obesity, and health risk // *Arch. Intern. Med.* 2000. № 160. P. 898–904.
30. Ryan D. H. Use of sibutramine and other noradrenergic and serotonergic drugs in the management of obesity // *Endocrine*. 2000. № 13. P. 193–199.
31. Zimmet P., Alberti G., Shaw J. A new IDF worldwide definition of the metabolic syndrome: the rationale and results // *Diabetes Voice*. 2005. Vol. 50. P. 31–33.

Vasendin D. V., Siberian State University of Geosystems and Technologies (Novosibirsk, Russian Federation)

MODERN APPROACHES TO OBESITY TREATMENT (LITERATURE REVIEW)

The actual problem of modern medical and biological sciences – the analysis of existing methods employed in treatment of chronic diseases and their prevention – is studied and presented in the article. The attention of multiple researchers and clinicians is focused on obesity. The disease has acquired a status of considerable social importance because of its prevalence in human population. A review of the national and foreign literature devoted to the problem of obesity treatment is conducted. Considering the fact that the cure of obesity with available drugs is almost impossible, today's pharmacotherapy is characterized by secondary character and is effective in combination with particular diets, psychotherapy and, in some cases, with surgical treatment carried out under qualified medical supervision.

Key words: obesity, pharmacological correction, treatment, pathogenic therapy

REFERENCES

1. Bessesen D. G., Kushner R. *Izbytochnyy ves i ozhirenie. Profilaktika, diagnostika i lechenie* [Excess weight and obesity. Prevention, diagnosis and treatment]. Moscow, Binom Publ., 2006. 240 p.
2. Butrova S. A. Sibutramine in the treatment of obesity [Sibutramin v lechenii ozhireniya]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian medical journal]. 2001. Vol. 9. № 9. P. 348–351.
3. Vasendin D. V. Structural and functional changes in the liver in obesity (literature review) [Strukturno-funktsional'nye izmeneniya v pecheni pri ozhireнии (obzor literatury)]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2014. № 8 (145). Vol. 2. P. 57–62.
4. Voznesenskaya T. G., Vakhmistrov A. V. Clinical-psychological analysis of eating disorders in obesity [Kliniko-psikhologicheskiy analiz narusheniy pishchevogo povedeniya pri ozhireнии]. *Zhurnal nevropatologii i psikiatrii im. S. S. Korsakova* [Journal of neuropathology and psychiatry. S. S. Korsakov]. 2001. № 12. P. 19–24.
5. Maskova G. S., Chernaya N. L., Nechaeva T. N., Bayurova S. A. The clinical and functional and metabolic status in children and adolescent with obesity in the age aspect [Osobennosti kliniko-funktsional'nogo i metabolicheskogo statusa u detey i podrostkov s ozhireнием v vozrastnom aspekte]. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina* [Preventive and clinical medicine]. 2014. Vol. 53. № 4. P. 92–96.
6. Mel'nichenko G. A. Obesity endocrinologist in practice [Ozhirenie v praktike endokrinologa]. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal* [Russian medical journal]. 2001. Vol. 9. № 2. P. 82–87.

7. *Ozhirenie: etiologiya, patogenez, klinicheskie aspekty: rukovodstvo dlya vrachey / Pod red. I. I. Dedova, G. A. Mel'nichenko* [Obesity: etiology, pathogenesis, clinical aspects: instruction manual for doctors / Ed. by I. I. Dedov, G. A. Melnichenko]. Moscow, MIA Publ., 2004. 456 p.
8. Panova E. I., Martyshina O. V., Danilov V. A. Pathology associated with obesity: frequency, nature and mechanisms of formation [Assotsirovannaya s ozhireniem patologiya: chastota, kharakter i nekotorye mekhanizmy formirovaniya]. *Sovremennye tekhnologii v meditsine* [Modern technologies in medicine]. 2013. Vol. 5. № 2. P. 108–115.
9. Romantsova T. I. Obesity epidemic: the obvious and probable causes [Epidemiya ozhireniya: ochevidnye i veroyatnye prichiny]. *Ozhirenie i metabolism* [Obesity and metabolism]. 2011. № 1. P. 5–19.
10. Savel'eva L. V. The modern concept of treatment of obesity [Sovremennaya kontseptsiya lecheniya ozhireniya]. *Ozhirenie i metabolism* [Obesity and metabolism]. 2011. № 1. P. 51–56.
11. Usenko G. A., Usenko A. G., Vasendin D. V., Nishcheta O. V., Mashkov S. V., Velichko N. P., Kozyreva T. Yu. Blood lipids, obesity, and incidence of complications of hypertension depending on psychosomatic characteristics of the patient and treatment [Lipidy krovi, ozhirenie i uroven' oslozhneniy gipertonicheskoy bolezni v zavisimosti ot psikhosomaticheskikh osobennostey patsienta i lecheniya]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 11: Meditsina* [Vestnik of Saint Petersburg state University. Series 11: Medicine]. 2014. № 1. P. 133–141.
12. Chazova E. I., Mychka V. B. *Metabolicheskiy sindrom* [Metabolic syndrome]. Moscow, Media Medica Publ., 2004. 168 p.
13. Bach D. S., Rissanen A. M., Mendel C. M., Shepherd G., Weinstein S. P., Kelly F., Seaton T. B., Patel B., Pekkarinen T. A., Armstrong W. F. Absence of cardiac valve dysfunction in obese patients treated with sibutramine // *Obes. Res.* 1999. № 7. P. 363–369.
14. Blackburn G. Effect of degree of weight loss on health benefits // *Obes. Res.* 1995. № 3. P. 211–216.
15. Bray G. A., Blackburn G. L., Ferguson J. M., Greenway F. L., Jain A. K., Mendel C. M., Ryan D. H., Schwartz S. L., Scheinbaum M. L., Seaton T. B. Sibutramine produces dose-related weight loss // *Obes. Res.* 1999. № 7. P. 189–198.
16. Bray G. A. Clinical evaluation and introduction to treatment of overweight // *Contemporary Diagnosis and Management of Obesity*. 1998. P. 131–166.
17. Bray G. A. Evaluation of drugs for treating obesity // *Obes Res.* 1995. № 3. P. 425–434.
18. Bray G. A., Greenway F. L. Current and potential drugs for treatment of obesity // *Endocr. Rev.* 1999. № 20. P. 805–875.
19. Connolly H. M., Crary J. L., McGoon M. D., Hensrud D. D., Edwards B. S., Edwards W. D., Schaff H. V. Valvular heart disease associated with fenfluramine-phentermine // *New Engl. J. Med.* 1997. № 337. P. 581–588.
20. Connolly H. M., McGoon M. D. Obesity drugs and the heart // *Curr. Probl. Cardiol.* 1999. № 24. P. 745–792.
21. Davidson M. H., Hauptman J., DiGirolamo M., Foreyt J. P., Halstead C. H., Heber D., Heimbarger D. C., Lucas C. P., Robbins D. C., Chung J., Heymsfield S. B. Weight control and risk factor reduction in obese subject treated for 2 years with orlistat: a randomized controlled trial // *JAMA.* 1999. № 281. P. 235–242.
22. Finer N., Bloom S. R., Frost G. S., Banks L. M., Griffiths J. Sibutramine is effective for weight loss and diabetic control in obesity with type 2 diabetes: a randomised, double-blind, placebo-controlled study // *Diabetes Obes. Metab.* 2000. № 2. P. 105–112.
23. From the Centers for Disease Control and Prevention: update: prevalence of overweight among children, adolescents, and adults – United States 1988–1994 // *JAMA.* 1997. P. 277–1111.
24. Heck A. M., Yanovski J. A., Calis K. A. Orlistat, a new lipase inhibitor for the management of obesity // *Pharmacotherapy.* 2000. № 20. P. 270–279.
25. Yanovski S. Z., Yanovski J. A. Obesity // *New Engl. J. Med.* 2002. № 346. P. 591–602.
26. Kernan W. N., Viscoli C. M., Brass L. M., Broderick J. P., Brott T., Feldmann E., Morgenstern L. B., Wilterdink J. L., Horwitz R. I. Phenylpropanolamine and the risk of hemorrhagic stroke // *New Engl. J. Med.* 2000. № 343. P. 1826–1832.
27. Khan L. K., Serdula M. K., Bowman B. A., Williamson D. F. Use of prescription weight loss pills among U.S. adults in 1996–1998 // *Ann. Intern. Med.* 2001. № 134. P. 284–286.
28. McGuire M. T., Wing R. R., Klem M. L., Hill J. O. Behavioral strategies of individuals who have maintained long-term weight losses // *Obes. Res.* 1999. № 7. P. 334–341.
29. National Task Force on the Prevention and Treatment of Obesity. Overweight, obesity, and health risk // *Arch. Intern. Med.* 2000. № 160. P. 898–904.
30. Ryan D. H. Use of sibutramine and other noradrenergic and serotonergic drugs in the management of obesity // *Endocrine.* 2000. № 13. P. 193–199.
31. Zimmet P., Alberti G., Shaw J. A new IDF worldwide definition of the metabolic syndrome: the rationale and results // *Diabetes Voice.* 2005. Vol. 50. P. 31–33.

Поступила в редакцию 22.06.2015

ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА БАХМЕТ

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

НАТАЛИЯ ГЛЕБОВНА ФЕДОРЕЦ

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией лесного почвоведения, Институт леса Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
fedorets@krc.karelia.ru

ЭТАЛОННЫЕ И РЕДКИЕ ПОЧВЫ ЗЕЛЕННОГО ПОЯСА ФЕННОСКАНДИИ

Ключевыми участками Зеленого пояса Фенноскандии являются особо охраняемые природные территории (ООПТ) различного ранга. На территории Карелии это как существующие национальные парки «Паанаярви», «Калевальский» и «Ладожские шхеры», Государственный природный заповедник «Костомукшский», так и предполагаемые охраняемые природные территории регионального значения. Почвенный покров ООПТ Зеленого пояса Фенноскандии весьма интересен, так как в нем представлены как фоновые (эталонные) почвы, так и редкие и уникальные почвенные объекты. В качестве почвенных эталонов выделяются климаксовые почвы, определяющие тип коренных биогеоценозов, а также не имеющие признаков вторичного изменения вследствие смены естественных факторов или антропогенного воздействия. На всех исследованных ООПТ в качестве эталонов выделены подзолистые почвы, однако их разнообразие и соотношение на данных территориях различно. К числу редких необходимо отнести горные почвы национального парка «Паанаярви», а также относительно плодородные подбурья национального парка «Ладожские шхеры».

Ключевые слова: охрана почв, эталонные, редкие почвы, Карелия, Фенноскандия, Зеленый пояс

ВВЕДЕНИЕ

Вдоль российско-финляндской границы выделен целый ряд ООПТ, которые объединены в Зеленый пояс Фенноскандии (рис. 1). Ключевые (федерального подчинения) ООПТ этой территории – национальные парки «Паанаярви», «Калевальский» и «Ладожские шхеры», а также Государственный природный заповедник «Костомукшский». Кроме того, выделен целый ряд природных заказников и охраняемых территорий регионального подчинения. Проведенные российскими и финскими учеными исследования показали, что природные комплексы и экосистемы этой территории имеют высокую степень сохранности и представляют большой интерес с точки зрения изучения естественных ненарушенных природных объектов Фенноскандии. Изучение почв выделенных ООПТ также дает ценную информацию о почвенном разнообразии данной природной зоны и соотношении различных почвенных разновидностей.

Выделение различных почвенных объектов обосновано Б. Ф. Апариним с соавторами [1], которые руководствовались следующими положениями:

- необходимость сохранения почв как особого природного тела и почвенного разнообразия,

- охрана почв как условие обеспечения видового и популяционного разнообразия флоры и фауны,
- сохранение почв как носителей памяти ландшафта и человеческой культуры.

На основе этих положений авторами выделены следующие категории объектов: эталонные (фоновые) – наиболее распространенные на данной территории, редкие – встречающиеся на ограниченной площади, и уникальные, то есть встречающиеся в одном месте. Эталонные могут быть использованы при решении как научных, так и практических задач: для изучения биогеоценотических функций почв, прогноза эволюции почв при изменении природных факторов, сравнения с антропогенно преобразованными почвами и др. Изучение редких почв позволяет выявить особенности природной территории в целом. Согласно данным категориям на охраняемых природных территориях Зеленого пояса Фенноскандии нами были описаны почвенные объекты. При их выделении использовались следующие критерии:

- соответствие типу коренного биогеоценоза;
- климаксовое состояние почвы;
- отсутствие признаков вторичных изменений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования почв ООПТ Зеленого пояса Фенноскандии авторы проводили в 1990–2000

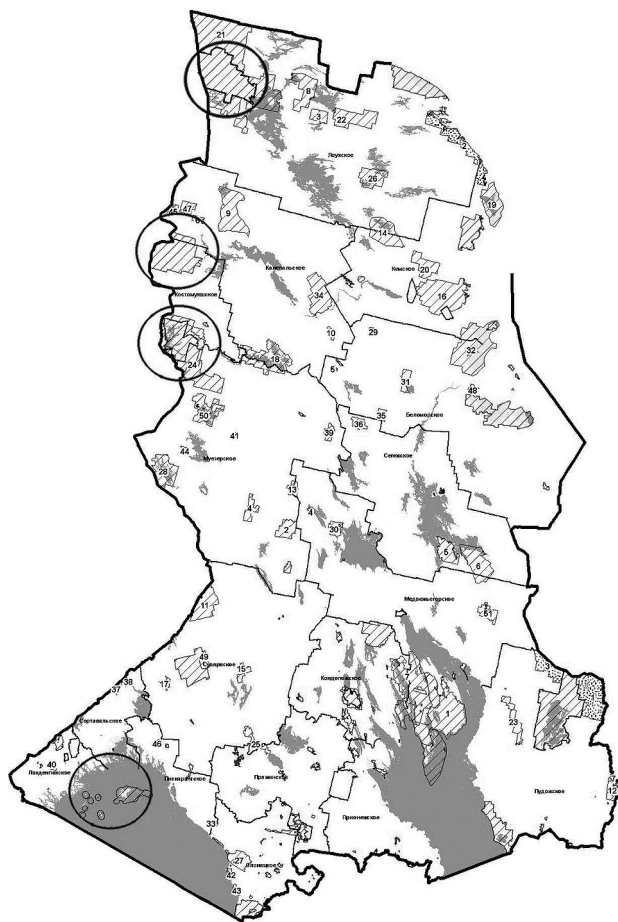


Рис. 1. ООПТ Зеленого пояса Фенноскандии, на которых проводились исследования

годах как в рамках бюджетных тем, так и грантов РФФИ. Значительная часть материалов по разнообразию почв и структуре почвенного покрова ООПТ получена при проведении маршрутных исследований. Для изучения почв и их пространственного распределения использовались метод катен и метод ключей. На сериях пробных площадей, заложенных в различных биогеоценозах (сосновых, еловых, мелколиственных), проводили исследования морфологических и биохимических особенностей почв. Закладка почвенных разрезов, описание морфологии почв, определение химических, физико-химических и физических свойств почв проводились по стандартным методикам. На основе полученных материалов построены картосхемы почвенного покрова исследованных ООПТ масштаба 1:100 000. В работе использована региональная классификация почв, разработанная Р. М. Морозовой [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В почвенном покрове Восточной Фенноскандии преобладают подзолистые почвы [2], [3]. Они образуются на бедных основаниями породах, различных по механическому составу и происхождению: флювиогляциальных и озерных песках,

моренных песчаных и супесчаных отложениях. Различный генезис и гранулометрический состав почвообразующих пород способствуют большому разнообразию автоморфных подзолистых почв. В связи с достаточно холодным климатом, низкой испаряемостью, а следовательно, высоким коэффициентом увлажнения большие площади республики занимают болотно-подзолистые и болотные почвы. Почвенные эталоны подзолистых, болотно-подзолистых и болотных почв можно встретить на всех выделенных ООПТ, однако существуют различия между ними в северо- и среднетаежной подзоне Карелии в связи со значительными различиями условий почвообразования. В северотаежной подзоне благодаря более суровым климатическим условиям мощность почв сравнительно невелика и составляет в среднем 60–70 см. В средней тайге мощность как отдельных минеральных горизонтов, так и почвенного профиля в целом увеличивается. Наблюдаются различия и в площади распространения почв в различных ООПТ Зеленого пояса Фенноскандии.

Национальный парк «Паанаярви» находится в северо-западной части Карелии и характеризуется преобладанием низкогорных ландшафтов. Почвенный покров территории очень своеобразен, что проявляется в его вертикальной зональности, широком распространении маломощных почв, развитии элювиальных и склоновых процессов. Среди подзолистых почв более половины площади занимают подзолы иллювиально-гумусовые с высокой степенью каменистости (табл. 1). К редким и уникальным почвам этой территории следует отнести: горно-тундровые и горно-подзолистые. Эти почвы встречаются в Карелии исключительно в национальном парке «Паанаярви», где наблюдаются высоты до 600 м над уровнем моря. Такие почвы развиваются на эродированных склонах, маломощных моренных наносах и элювии коренных пород, они обычно

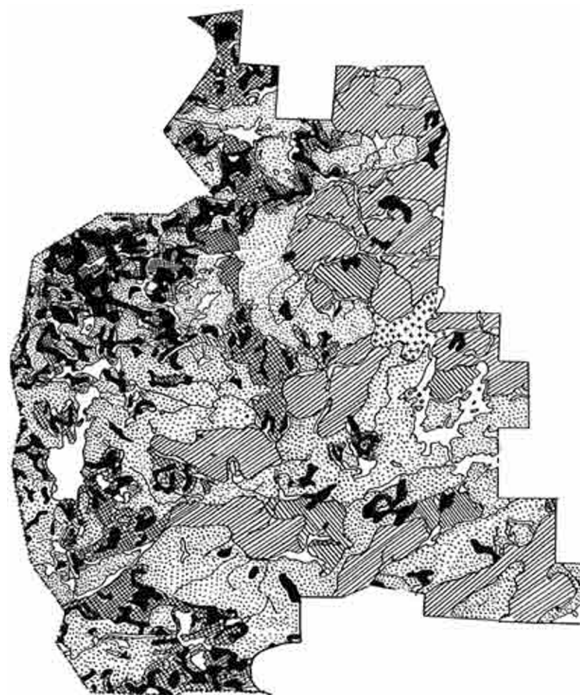
Таблица 1
Распространение почв в национальном парке «Паанаярви»

Почвы	Почвообразующие породы	Площадь, %
Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые (без разделения)	Песчаные	23,5
Подзолы иллювиально-гумусовые	Песчаные валунные и галечниковые	56,2
	Супесчаные валунные и галечниковые	15,2
Подзолы глеевые торфянистые и торфяные, в основном иллювиально-гумусовые	Песчаные	0,7
Торфяные, торфяно-и торфянисто-подзолисто-глеевые	Среднесуглинистые	4,4

Прочие компоненты: горно-тундровые (подбуры темные тундровые), подзолы иллювиально-железистые, торфяные болотные, каменистые россыпи с примитивными почвами

сильно щебенчатые и хрящеватые. Наряду с этим содержат значительную примесь мелкозема. Подзолистый горизонт в горных почвах слабо выражен или отсутствует. Иллювиально-гумусовый горизонт иногда залегает непосредственно под органомогенным, который, как правило, оторфован.

Национальный парк «Калевальский» находится на крайнем западе центральной части Карелии. Климатические условия таковы, что по теплообеспеченности почв территория относится к самому холодному району Карелии. Западная часть парка преимущественно равнинная, в восточной преобладает ярко-выраженный холмисто-грядовый рельеф. На территории парка представлен широкий спектр почв, типичных для северной подзоны таежной зоны Карелии, где преобладают почвообразующие породы легкого механического состава (рис. 2). Сформированные на них почвы характеризуются крупнопесчаным составом, малой влагоемкостью и низким содержанием элементов минерального питания. Около 50 % территории занимают сравнительно бедные песчаные подзолы иллювиально-железистые, что характерно для данной природной зоны (табл. 2).



-  Поверхностно-подзолистые и подзолы иллювиально-железистые песчаные
-  Подзолы иллювиально-гумусовые песчаные и супесчаные в сочетании с торфяными и торфяно-глеевыми
-  Подзолы маломощные в сочетании с примитивными
-  Болотные верховые, переходные и низинные

Рис. 2. Пример построенных картосхем. Почвенный покров национального парка «Калевальский»

Таблица 2
Распространение почв в национальном парке «Калевальский»

Почвы	Почвообразующие породы	Площадь, %
Подзолы иллювиально-железистые	Песчаные	49,7
Подзолы иллювиально-гумусовые	Супесчаные щебнистые	30,7
Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые	Песчаные	7,8
Торфяные болотные		11,7

Прочие компоненты: подзолы глеевые торфянистые и торфяные в основном иллювиально-гумусовые, каменистые россыпи с примитивными почвами

В целом почвенный покров НП отличается значительной сложностью, неоднородностью и контрастностью.

Почвенный покров заповедника «Костомукшский» также характеризуется сложностью и мелкоконтурностью, на его территории широкое распространение получили сочетания автоморфных почв подзолистого типа, в меньшей степени – полугидроморфных и гидроморфных почв. Однако в составе почв примерно равное (около 50 %) соотношение имеют автоморфные и полугидроморфные подзолистые почвы (табл. 3). На долю остальных компонентов почвенного покрова приходится лишь 0,1 % площади заповедника.

Таблица 3
Распространение почв в заповеднике «Костомукшский»

Почвы	Почвообразующие породы	Площадь, %
Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые (без разделения)	Песчаные валунные и галечниковые	49,7
Подзолы глеевые торфянистые и торфяные в основном иллювиально-гумусовые	Песчаные валунные и галечниковые	50,2

Прочие компоненты: каменистые россыпи с примитивными почвами

Территория парка «Ладожские шхеры» относится к среднетаежной подзоне с элементами южной тайги. Преобладают хвойные леса, но высота и доля лиственных, что находит отражение в специфичности почвенного покрова. В национальном парке эталонные песчаные подзолистые почвы занимают по сравнению с другими ООПТ небольшую часть территории и имеют черты почв южной тайги. Значительные площади занимают почвы, формирующиеся по буроземному типу, так называемые подбуры, которые можно отнести к редким (табл. 4). Они развиваются на переотложенном элюво-делювии основных горных пород, имеют, как правило, маломощную хорошо разложившуюся подстилку. В целом профиль подбуров бурый слабодифференциро-

Таблица 4
Распространение почв в национальном парке «Ладожские шхеры»

Почвы	Почвообразующие породы	Площадь, %
Подбурь и примитивные почвы	Элювий основных пород	38,4
Подзолы иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые	Песчаные	36,6
Подзолы глеевые торфянистые и торфяные в основном иллювиально-гумусовые	Песчаные	10,2
Прочие компоненты: торфяные болотные, вторично-дерновые		

ванный, пропитан гумусом. Содержание органического вещества в этих почвах сравнительно велико по сравнению с подзолами, что определяет их высокое для этой природной зоны плодородие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование почв и почвенного покрова ООПТ Зеленого пояса Фенноскандии позволило выявить особенности их генезиса и структуры почвенного покрова. Каждая из описанных территорий является своеобразной и уникальной, на каждой из них выявлены почвы, являющиеся эталонными для северо-и среднетаежной подзон Восточной Фенноскандии. В национальных парках «Паанаярви» и «Ладожские шхеры» выделены почвы, относящиеся к категории редких и подлежащих внесению в Красную книгу почв Карелии. В целом почвенный покров всех исследованных ООПТ характеризуется значительной сложностью, неоднородностью и контрастностью, что свойственно почвенному покрову Восточной Фенноскандии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апарин Б. Ф., Касаткина Г. А., Матинян Н. Н., Сухачева Е. Ю. Красная книга почв Ленинградской области. СПб.: Аэроплан, 2007. 320 с.
2. Бахмет О. Н., Морозова Р. М. Почвенный покров // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды / Ред. А. Н. Громцев, С. П. Китаев, В. И. Крутов, О. Л. Кузнецов, Т. Линдхольм, Е. Б. Яковлев. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2003. С. 29–31.
3. Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.

Bakhmet O. N., Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russia)
Fedorets N. G., Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russia)

REFERENCE AND RARE SOILS OF FENNOSCANDIA GREEN BELT

The backbone of the Green Belt of Fennoscandia is presented by multiple protected areas (PA) of various ranks. On the territory of Karelia such areas are represented by existing national parks: “Paanajärvi”, “Kalevala and “Ladoga Skerries”, Kostomukshsky National Nature Reserve and by other regional protected areas. The soil cover in these areas is quite interesting as it comprises both reference (background) soils and rare or unique soil varieties. Climax soils, which predetermine the type of primary biogeocoenoses and have no traits of secondary transformation induced by changes of natural factors or by human impact are taken for reference. The reference soils in all surveyed protected areas are podzolic by nature, but their diversity and ratios differ among the PAs. The mentioned rare soil species are montane soils found in the Paanajärvi national park, as well as the relatively fertile podburs in the Ladoga Skerries national park.

Key words: preservation of soils, typical soils, rare soils, Karelia, Fennoscandia, Green Belt

REFERENCES

1. Aparin B. F., Kasatkina G. A., Matinyan N. N., Sukhacheva E. Yu. *Krasnaya kniga pochv Leningradskoy oblasti* [Red data soil book of the Leningrad region]. St. Petersburg, Aeroplan Publ., 2007. 320 p.
2. Bakhmet O. N., Morozova R. M. Soil cover [Pochvennyy pokrov]. *Raznoobrazie bioty Karelii: usloviya formirovaniya, soobshchestva i vidy* [Biotic diversity of Karelia: conditions of formation, communities and species]. Petrozavodsk, 2003. P. 29–31.
3. Morozova R. M. *Lesnye pochvy Karelii* [Forest soils of Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1991. 184 p.

Поступила в редакцию 10.06.2015

РУДОЛЬФ ВАСИЛЬЕВИЧ СУНГУРОВ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, Северный НИИ лесного хозяйства (Архангельск, Российская Федерация).
sungurov51@yandex.ru

НАТАЛЬЯ РУДОЛЬФОВНА СУНГУРОВА

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

НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ ГАЕВСКИЙ

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Лесотехнического института, Северный арктический федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация).
gaevsky.nikolay@yandex.ru

ОЦЕНКА МЕТОДОВ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР

Полевые исследования эффективности основных методов учета лесных культур проводились с целью совершенствования нормативно-технической базы в области воспроизводства лесов на этапе перевода лесных культур в земли, покрытые лесной растительностью. Исследования проводились в северо-таежном районе Архангельской области. Как показывает анализ полученных данных, точность учета зависит от площади обследованных лесных культур, технологии их создания, методов учета. Наиболее приемлемым следует считать метод учета лесных культур учетными отрезками на площадях до 20 га с одновременной закладкой пробных площадей для изучения характера естественного лесовозобновления в междурядьях лесных культур. При площади лесных культур более 20 га целесообразно использовать метод прямоугольных площадок, что снижает трудозатраты на проведение учетных работ. Использование правильных методов учета лесных культур позволит исключить применение слабо обоснованных решений при назначении последующих лесохозяйственных мероприятий.

Ключевые слова: лесные культуры, методы учета, инвентаризация, оценка качества

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей «Программы развития лесного хозяйства» на 2013–2020 годы является «создание условий для ведения интенсивного лесного хозяйства при сохранении их экологических функций, а также повышение эффективности контроля за использованием и воспроизводством лесов». При этом отношение площади искусственного лесовосстановления к площади выбытия лесов в результате сплошных рубок планируется увеличить с 17,1 % в 2010 году до 23,2 % в 2020 году.

Мероприятия по использованию, охране, защите и воспроизводству лесных ресурсов в настоящее время регулируются нормативными техническими документами, в основу которых положены организационные формы эффективного проведения лесохозяйственных работ, способы и методы оценки и учета качества их исполнения. Известно, что оценка качества лесных культур при их инвентаризации и переводе в земли, покрытые лесной растительностью, может проводиться различными методами, которые по-разному влияют на качество результативности учетных работ.

Целью исследований является совершенствование нормативно-технической базы в области воспроизводства лесов на этапе перевода лесных культур в земли, покрытые лесной растительностью. Исследования проводились в северо-таежном районе Архангельской области.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки методов учета лесных культур были подобраны два участка искусственных насаждений сосны в Кельдозерском и Ломоносовском участковых лесничествах Холмогорского лесничества.

Перевод лесных культур в земли, покрытые лесной растительностью, осуществляется во время инвентаризации с обязательным осмотром переводимых участков в натуре и закладкой пробных площадей в местах, отражающих общее состояние культивируемых пород на участке. При этом проводится пересчет на участках посаженных и естественно выращенных древесных растений с последующим перерасчетом на 1 га площади. Переводимые лесные культуры должны иметь достаточное количество растений главной породы и равномерное их размещение [3].

Для определения точности инвентаризации лесных культур при переводе в земли, покрытые лесной растительностью, использовались разные методы закладки временных пробных или учетных площадей:

- отдельными рядами лесных культур;
- прямоугольными площадками;
- круговыми площадками;
- равными учетными отрезками рядов лесных культур;
- пробными площадями (в местах, наиболее характерных для данного участка);
- сплошным пересчетом всех деревьев на объекте.

Во время инвентаризации производился пересчет лесных культур, где это было необходимо, по следующей схеме: номер ряда, порода, состояние растения с разделением на здоровые, сомнительные и сухие, устанавливались причины гибели и/или плохого состояния деревьев.

Сущность использованных методов заключается в следующем.

1. *Отдельными рядами лесных культур.* Пересчет всех посадочных мест на участках лесных культур производился на 5–10 % всех рядов культур с таким расчетом, чтобы учетные ряды чередовались и проходили через весь участок. К примеру, если на объекте 60 рядов лесных культур, тогда выбиралось 6 учетных рядов, исходя из 10 % выборки. В качестве учетных выбирались ряды № 5, 15, 25, 35, 45 и 55, расположенные от крайнего ряда лесокультурной площади [2]. Крайние ряды в учет не включаются.
2. *Прямоугольными площадками* (которые закладывались согласно «Техническим указаниям по проведению инвентаризации лесных культур, защитных лесных насаждений, питомников, площадей с проведенными мерами содействия естественному возобновлению леса и вводу молодняков в категорию ценных древесных насаждений». М., 1990). Учетные площадки закладывались на ходовых линиях, располагаемых равномерно по объекту. Пересчет деревьев проводился на площадках размером $2 \times 2,5$ м площадью 5 м^2 , расположенных через 20 м. При площади обследуемых участков до 5 га закладывается 30 площадок, 5–10 га – 50, свыше 10 га – 100 учетных площадок.
3. *Круговыми площадками* (которые также закладывались согласно «Техническим указаниям...», 1990). Учетные площадки закладывались на прямолинейных ходовых линиях, располагаемых параллельно одна к другой и всех линий к одной из границ участка. Для размещения «сетки» ходовых линий одна из границ участка принималась за «базу», все другие линии прокладывались перпендикулярно по отношению к «базе» до противоположной стороны участка. Учетные площадки размером 4 м^2 для пересчета деревьев закла-

дывались на ходовых линиях через 20 м. Границы площадок определялись «очерчиванием» круга деревянной рейкой длиной 1,13 м в количестве 25 штук на 1 га независимо от площади всего участка.

S. I. Minkevich, проводя выборочную лесоинвентаризацию математико-статистическим методом на круговых пробных площадях в Гродненском ПЛХО, рекомендует усовершенствовать систему выборочной лесоинвентаризации для Республики Беларусь [4].

4. *Равными учетными отрезками рядов лесных культур.* При инвентаризации лесных культур учетными отрезками их общая длина определяется величиной объекта. При площади участка до 3 га суммарная длина учетных отрезков должна составлять не менее 5 % от общей длины посадочных (посевных) рядов. С увеличением площади лесных культур повышается суммарная длина учетных отрезков. Так, при площади от 3 до 5 га длина учетных отрезков составляет 4 %, от 5 до 10 га – 3 %, от 10 до 50 га – 2 %, более 50 га – 1 %. Длина каждого учетного отрезка колеблется от 20 до 50 м.
5. *Пробными площадями* (в местах, наиболее характерных для данного участка). Пробные площади закладываются в местах, характерных для всего участка лесных культур. При площади участка до 3 га закладывают одну, от 3 до 10 га – две, от 11 до 25 га – три, свыше 25 га – четыре пробных площади [1]. Продольные линии пробной площади должны совпадать с серединой междурядий культур. Пробные площади должны включать не менее трех рядов главной породы и полную схему смешения пород. При закладке одной пробной площади на ней должно быть не менее 150, а при закладке двух и более – не менее 100 культивируемых деревьев главной породы на каждой пробной площади. В зависимости от однородности культур закладывались пробные площади величиной в $1/100$ га ($10 \times 10 \text{ м}$), $1/50$ га ($10 \times 20 \text{ м}$), $1/25$ га ($20 \times 20 \text{ м}$), $1/20$ га ($20 \times 25 \text{ м}$) [2].
6. *Сплошным пересчетом всех деревьев лесных культур на объекте.* При данном методе проводился сплошной пересчет всех деревьев лесных культур на объекте, а также закладывались пробные площади для учета естественного возобновления в междурядьях лесных культур.

До начала полевых работ проводился анализ документов в лесничествах и велась выкопировка участков лесных культур с таксационных планшетов, на которые наносились границы лесотаксационных выделов насаждений до рубки. В натуре проводилось рекогносцировочное обследование объекта с последующим ведением работ по апробации запланированных методов учета. При обследовании на выбранных участ-

ках намечались маршрутные ходы, начало которых маркировалось вешками. Расстояние между маршрутными ходовыми линиями колебалось в пределах от 100 до 300 м в зависимости от площади объекта.

Оценка качества лесных культур в возрасте перевода в земли, покрытые лесной растительностью, регламентируется ОСТ 56-99-93 «Культуры лесные: оценка качества» и Правилами лесовосстановления (2007). В соответствии с данными документами лесные культуры, закладываемые в разных лесорастительных условиях, подразделяются на два класса качества по основным таксационным показателям. Для условий северо-таежной зоны при культивировании основных лесообразующих пород – сосны и ели – отсутствуют критерии оценки для всего спектра лесорастительных условий. Поэтому, основываясь на данных многолетних исследований и анализе литературных источников, одновременно предложены недостающие нормы оценки (табл. 1).

Участок № 1 общей площадью 23,5 га заложен на 5-летней луговиковой вырубке из-под сосняка черничника свежего. Рельеф участка равнинный, положение повышенное, почва сильноподзолистая, суглинистая свежая, количество пней 600–800 шт./га. Подготовка площади осуществлялась толкателем клиновидным ТК-1 в агрегате с трактором ТДТ-55 полосами шириной 1 м. Посадку 2-летних сеянцев сосны из теплиц проводили весной под меч Колесова. Первоначальная густота культур 3765 шт./га. Схема посадки 0,5–0,6 × 5 м. Лесоводственные уходы за культурами не проводились. Возраст изучаемых культур 11 лет. На участке встречаются кусты рябины, шиповник, можжевельник.

Участок № 2 площадью 10 га заложен на свежей вырубке из-под сосняка черничника влажного. Рельеф повышенный, участок расположен на водоразделе и слабовыраженных склонах со слабой проточностью. Сохранились порубочные остатки, сложенные в кучи. Обработка почвы проводилась плугом ПЛП-135 в агрегате с трактором Т-130. Посадка 2-летних сеянцев сосны из теплиц производилась весной в сформированные плугом пласты вручную под меч Колесова. Первоначальная густота культур составляла 4000 шт./га. Схема посадки сеянцев следующая: 0,5–0,6 × 4,5 м. В 3-летнем возрасте культур проведена их оправка. Возраст изучаемых культур 6 лет. На участке встречаются кусты рябины, ива.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты обследования лесных культур разными методами приведены в табл. 2. Как показывает анализ полученных данных, точность учета зависит, на наш взгляд, от площади обследованных лесных культур, технологии их создания, методов учета. При больших площадях лесных культур, подлежащих оценке, многие из апробированных методов носят довольно существенную долю субъективизма. Наиболее приемлемым, на наш взгляд, следует считать метод учета лесных культур учетными отрезками на площадях до 20 га с одновременной закладкой пробных площадей для изучения характера естественного лесовозобновления в междурядьях лесных культур.

При площади лесных культур более 20 га целесообразно использовать метод прямоугонных площадок, что, естественно, снижает трудозатраты на проведение учетных работ. Использование правильных методов учета лесных культур поз-

Таблица 1
Шкала оценки искусственного восстановления вырубок в северной подзоне тайги

Наименование главных древесных пород	Тип лесорастительных условий	Возраст лесных культур, лет	Класс качества	Средняя ширина междурядий, м, не более	Количество культивируемых деревьев, тыс. шт./га, не менее	Средняя высота культивируемых деревьев, м, не менее
Ель европейская (обыкновенная)	Брусничные	10	1 2	4,0 5,0	2,5 1,7	0,9 0,7
	Черничные	10	1 2	4,0 5,0	2,5 1,7	0,9 0,7
	Долгомошные	10	1 2	4,0 5,0	2,5 2,0	0,7 0,5
	Травяно-сфагновые	10	1 2	4,0 5,0	2,5 2,0	0,9 0,7
Сосна обыкновенная	Лишайниковые	9	1 2	3,5 4,0	3,5 2,2	1,0 0,7
	Брусничные	9	1 2	3,5 4,5	3,0 2,0	1,1 0,8
	Черничные	9	1 2	3,5 4,5	3,0 1,8	1,2 0,9
	Долгомошные	9	1 2	3,5 4,5	3,0 1,8	1,0 0,7
	Травяно-сфагновые	9	1 2	3,5 4,5	3,0 1,8	1,1 0,8

Таблица 2

Данные инвентаризации лесных культур при переводе в покрытые лесом площади

Методы учета лесных культур	Участок № 1						Участок № 2					
	Количество деревьев по породам, шт./га					Точность метода при изучении культур, %	Количество деревьев по породам, шт./га					Точность метода при изучении культур, %
	сосна культуры	береза	ель	сосна естеств. воз.	всего		сосна культуры	береза	ель	сосна естеств. воз.	всего	
Пробные площади	2642	1942	192	25	4801	123,8	3250	—	—	—	3250	161,5
Учетные ряды	1803	—	—	—	1803	84,5	1571	—	—	—	1571	78,1
Учетные отрезки	1780	—	—	—	1780	83,4	2128	—	—	—	2128	105,7
Круговые площадки	2500	1900	200	—	4600	117,1	2300	41100	3100	200	46700	114,3
Прямоугольные площадки	2304	826	87	—	3217	108,0	2783	43609	12328	522	59242	138,3
Сплошной пересчет	2134	—	—	—	—	100,0	2012	—	—	—	—	100,0

волит исключить применение малообоснованных решений при назначении последующих лесохозяйственных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка норм оценки качества лесных культур при переводе участков в земли, покрытые лесной растительностью, позволит эффективнее управлять процессом воспроизводства лесных ресурсов. Известно, что ошибки при

выращивании древостоев, допущенные на начальных этапах, не смогут быть в полной мере исправлены в последующем или потребуют вложения значительных финансовых средств. Лесоводственные нормы оценки выращивания насаждений искусственного происхождения, проводимого разными способами и по конкурирующим технологическим схемам, применимы для различных форм ведения лесного хозяйства и в различных лесорастительных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К а й л а С. Справочное пособие по лесовосстановлению: Пер. с финск. / Под ред. А. Н. Новосельцевой. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 80 с.
2. К о б р а н о в Н. П. Обследование и исследование лесных культур. Л.: РИО ЛТА, 1973. 77 с.
3. Справочник лесничего / Под общ. ред. А. Н. Филипчука. 7-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2003. 640 с.
4. M i n k e v i c h S. I. Sampling forest inventory in Belarus // Материалы III Международной конференции молодых ученых. М.: МГУЛ, 2003. С. 67–69.

Sungurov R. V., Northern research Institute of Forestry (Arkhangelsk, Russian Federation)
Sungurova N. R., Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk, Russian Federation)
Gaevskiy N. P., Northern (Arctic) Federal University (Arkhangelsk, Russian Federation)

EVALUATION OF DIFFERENT METHODS EMPLOYED IN FOREST CROPS' INVENTORY

The field study of the effectiveness of basic accounting methods employed for the forest crops' enumeration was conducted with the aim to improve the regulatory framework used in the field of forest regeneration at the stage of forest crops' transfer into the land covered with forest vegetation. The study was conducted in the North-taiga district of Arkhangelsk region. The analysis of the obtained data shows that the accuracy of the account depends on the area of the surveyed forest cultures, technologies of their creation, and methods of accounting. The most appropriate is a method of forest crops' enumeration by account lines in the areas of up to 20 hectares with simultaneous plots' development. This method is also assistive in the exploration of the nature of natural regeneration in forest row crops. It is advisable to plan rectangular areas for forest plots of more than 20 hectares. It reduces the amount of efforts needed for the implementation of accounting works. The use of appropriate methods for forest crops' inventory will exclude realization of poorly justified decisions when administering subsequent forest management activities.

Key words: forest crops, methods of accounting, inventory, quality assessment

REFERENCES

1. K a y l a S. *Spravochnoe posobie po lesovosstanovleniyu* [Reference manual of reforestation]. Translation into Finnish / Edited by A. N. Novoseltseva. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 80 p.
2. K o b r a n o v N. P. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Examination and study of forest crops]. Leningrad, RIO LTA Publ., 1973. 77 p.
3. *Spravochnik lesnichego* [Reference Forester] / Under the General editorship. A. N. Filipchuk. 7th edition, revised and enlarged. Moscow, VNIILM Publ., 2003. 640 p.
4. M i n k e v i c h S. I. Sampling forest inventory in Belarus. *Materialy III Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh* [Materials of III International conference of young scientists]. Moscow, MFUF Publ., 2003. P. 67–69.

Поступила в редакцию 11.03.2015

ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА ТЮКАВИНА

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники, общей экологии и природопользования Института естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)
olga-tukavina@yandex.ru

ЮЛИЯ ВИКТОРОВНА ЧУРКИНА

кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии и биотехнических систем Института естественных наук и технологий, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (Архангельск, Российская Федерация)
u.churkina@narfu.ru

ВЛАЖНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО

Водный режим растения, в частности влажность древесины, взаимосвязан со многими физиологическими процессами и является одним из критериев оценки жизнеспособности тополей. Цель исследования – выявить зависимости относительной влажности древесины от морфометрических характеристик деревьев и оценить характер распределения воды в поперечном сечении ствола. Исследования проводили на высоте 1,3 м путем отбора кернов с северной и южной сторон дерева. Влажность определяли для частиц длиной 10 мм весовым методом с расчетом на влажный вес. Средняя влажность древесины тополя бальзамического составляет 55 %. Средняя влажность заболонной древесины – порядка 44 %, а средняя влажность ядровой зоны – 58 %. В среднем радиус заболонной зоны древесины составляет 4,7 см (25 %). Относительная влажность заболонной древесины характеризуется средней изменчивостью и зависит от диаметра и возраста дерева. Влага распределена неравномерно по периметру заболонной древесины в поперечном сечении ствола. Различия может достигать 45 %. Интенсивность механических повреждений и некрозов влияет на амплитуду изменения влажности по периметру заболонной зоны в поперечном сечении ствола. Влажность ядровой древесины зависит от диаметра и категории состояния дерева. Большой изменчивостью характеризуется ширина заболони древесины тополя. Она зависит практически от всех исследуемых морфометрических характеристик дерева. В относительно здоровом насаждении на ширину заболони древесины наибольшее влияние оказывает диаметр дерева, а в сильно ослабленном насаждении – возраст дерева. В распределении влажности по радиусу древесного ствола выделяем 3 схемы: 1) плавное повышение влажности от камбия к ядровой древесине (у 20 % деревьев); 2) одинаковая влажность на всем поперечном сечении ствола дерева (13 %); 3) наружный сантиметр заболони имеет наибольшую влажность, равную влажности ядровой древесины, перепад влажности на границе между заболонной и ядровой зоной может достигать 30 % (у 60 %).

Ключевые слова: влажность древесины, заболонная древесина, ядровая древесина, ширина заболони, тополь бальзамический

ВВЕДЕНИЕ

В озеленении города Архангельска широко используются тополя. Наиболее распространенным видом является тополь бальзамический (*Populus balsamifera*). Данный вид тополя является довольно холодостойким, морозостойчивым, газоустойчивым. Для оценки жизнеспособности деревьев в условиях города с целью принятия правильных хозяйственных решений необходимо знать физико-механические и химические свойства древесины тополей. Одним из таких свойств является влажность древесины. Водный режим растения, в частности влажность древесины, взаимосвязан со многими физиологическими процессами и является важным условием их нормального функционирования [2], [5], [12]. Не

вся древесина служит местом проведения воды [2]. Размеры общего поперечного сечения стволов деревьев, участвующего в проведении воды, различны. У большинства видов центральная часть ствола превращается в ядро и становится физиологически неактивной. Даже не вся заболонь участвует в проведении воды [5]. Воду проводят наружные годичные кольца [5], [8], [10], [13]. Заболонь содержит больше влаги и быстрее ее поглощает [7]. Для тополя характерна высокая влажность ядровой древесины [4], [9], [14], [15], [16]. В связи с этим Г. И. Редько [9] предположил, что ядро у тополей принимает участие в процессах водообмена, происходящих в дереве. Ряд ученых [1], [2], [5] отмечают, что центральная часть

не может проводить воду. Центральная часть проводящей ксилемы закупоривается тиллами, которые практически перекрывают проходное сечение элементов ксилемы (сосудов) [11], или заполняется газами [6]. Однако данные утверждения мало применимы к тополю, так как привели бы к снижению влажности. А. В. Веретенников [2] указывает, что старые годовичные кольца просто не достигают кроны, они выклиниваются по мере увеличения высоты дерева, поэтому не могут участвовать в восходящем токе. Таким образом, повышенная влажность ядровой древесины тополя не может объясняться выполнением функции проведения воды в дереве.

Особенности обводненности древесины тополя изучены недостаточно, причем имеющаяся информация неоднозначна и иногда противоречива.

Цель исследования – выявить зависимости влажности древесины тополя от морфометрических характеристик деревьев и оценить характер распределения влажности в поперечном сечении ствола.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в насаждениях тополя бальзамического в г. Архангельске. *Первая пробная площадь* – сквер у Молодежного театра. Средняя высота тополей составляет 25,9 м, средний диаметр – 42,1 см, средний возраст – 45 лет. Индекс состояния насаждения – 2,9. *Вторая пробная площадь* – Петровский парк. Средняя высота тополей составляет 30,2 м, средний диаметр – 55,6 см, средний возраст – 40 лет. Индекс состояния насаждения – 1,9. *Третья пробная площадь* – сквер у лесозавода № 3. Средняя высота тополей составляет 30,1 м, средний диаметр – 45,9 см, средний возраст – 42 года. Индекс состояния насаждения – 1,57. Наибольшее количество сильно ослабленных деревьев (57 %) отмечается в сквере у Молодежного театра. Практически все деревья относятся к категории ослабленных в Петровском парке. Насаждение в сквере вблизи лесозавода № 3 можно охарактеризовать как относительно здоровое, так как примерно половина деревьев относится к категории здоровых, а индекс состояния насаждения пограничный между категориями здоровое насаждение и ослабленное.

На каждой пробной площади проводили сплошной пересчет по ступеням толщины и категориям состояния, затем отбирали 15 модельных деревьев пропорционально представленности по ступеням толщины. Для каждого модельного дерева определяли морфометрические параметры и визуально санитарно-патологическое состояние. У каждого модельного дерева отбирали керны на высоте 1,3 м и у шейки корня. На высоте 1,3 м керны брались в 3-разовой повторности (с севера, с юга и произвольно). У шейки корня керны добывались только с северной стороны для определения возраста. Керны разделяли на части по

10 мм и определяли влажность для каждой частички весовым методом с расчетом на влажный вес. Взвешивание проводили в полевых условиях на торсионных весах «ВТ-500» с ценой наименьшего деления 1 мг. Сушили образцы в сушильном шкафу при температуре 104°.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Средняя влажность древесины тополя составляет порядка 55,8 % в сквере у Молодежного театра, 54,0 % – в Петровском парке, 55,5 % – в сквере вблизи лесозавода № 3. Различия в средней влажности древесины между насаждениями с различными категориями состояния незначительны и недостоверны. Но чем сильнее ослаблено насаждение, тем выше коэффициент изменчивости влажности древесины. Так, в здоровом насаждении коэффициент изменчивости (3,6 %) в 2 раза меньше по сравнению с ослабленным насаждением. Обе выборочные совокупности характеризуются малой изменчивостью. В сильно ослабленном насаждении коэффициент изменчивости влажности древесины в 3 раза превышает таковой в здоровом насаждении. Данная выборочная совокупность характеризуется средней изменчивостью.

В древесине тополя выделяют заболонную и ядровую зоны. Выделение функционально различных зон связано с появлением в ядровой зоне серой окраски, резким повышением влажности. Особенностью древесины тополя является превышение влажности древесины ядровой зоны над заболонной (табл. 1).

Различие во влажности заболонной зоны между насаждениями разных категорий состояния, а также во влажности ядровой зоны недостоверно. И в относительно здоровом насаждении, и в сильно ослабленном средняя влажность заболонной древесины составляет порядка 44 %, а средняя влажность ядровой зоны – 58 %. Наибольшей изменчивостью характеризуется влажность и ширина заболонной зоны древесины в ослабленных и сильно ослабленных насаждениях. В среднем ширина заболонной зоны древесины составляет 4,7 см, а ядровой – 14 см, что соответствует 25 и 75 %. Отмечается тенденция увеличения влажности и ширины заболонной древесины тополя в сильно ослабленном насаждении.

Одним из самых изменчивых показателей является влажность заболонной древесины тополя. Зависимость данного показателя от морфометрических характеристик деревьев представлена в табл. 2.

Отмечается умеренная криволинейная достоверная связь влажности заболонной зоны с высотой поднятия кроны в относительно здоровом и ослабленном насаждении. В Петровском парке, где кроны деревьев подвергались обрезке, прослеживается умеренная криволинейная достоверная связь данного показателя с высотой де-

Таблица 1

Характеристика водопроводящей зоны древесины тополя

Показатели статистического анализа	Влажность заболонной зоны, %	Влажность ядровой зоны, %	Ширина заболонной зоны, см	Ширина ядровой зоны, см	Ширина заболонной зоны, %	Ширина ядровой зоны, %
Сквер у Молодежного театра						
M	46,2	59,1	4,4	12,3	26,9	73,1
δ	9,45	4,83	3,74	4,29	21,24	21,24
m _M	2,5	1,3	1,0	1,1	5,7	5,7
C	20,5	8,2	84,4	34,9	78,9	29,1
t ₁	18,3	45,8	4,4	10,7	4,7	12,9
p	5,5	2,2	22,5	9,3	21,1	7,8
Петровский парк						
M	42,8	57,8	5,1	16,1	23,5	76,5
δ	9,11	4,73	2,13	2,41	7,21	7,21
m _M	2,4	1,3	0,6	0,6	1,9	1,9
C	21,3	8,2	42,0	14,9	30,7	9,4
t ₁	17,6	45,7	8,9	25,0	12,2	39,7
p	5,7	2,2	11,2	4,0	8,2	2,5
Лесозавод № 3						
M	43,4	59,2	4,5	13,6	24,4	76,1
δ	3,79	2,24	1,7	2,10	6,54	7,15
m _M	1,0	0,6	0,5	0,6	1,7	1,9
C	8,7	3,8	37,7	15,4	26,8	9,4
t ₁	42,8	99,0	9,9	24,3	13,9	39,8
p	2,3	1,0	10,1	4,1	7,2	2,5

Примечание. M – среднее значение; δ – среднее квадратичное отклонение; m_M – основная ошибка среднего значения; C – коэффициент изменчивости; t₁ – достоверность среднего значения; p – точность опыта.

Таблица 2

Теснота связи показателей водопроводящей зоны древесины от морфометрических характеристик деревьев ($\eta \pm m_{\eta}$)

Морфометрические показатели	Влажность заболонной древесины	Влажность ядровой древесины	Ширина заболони
Относительно здоровое насаждение			
Высота, м	0,41 ± 0,15	0,26 ± 0,17	0,83 ± 0,06
Диаметр, см	0,61 ± 0,11	0,74 ± 0,08	0,93 ± 0,02
Высота поднятия кроны, м	0,56 ± 0,12	0,47 ± 0,15	0,73 ± 0,08
Возраст, лет	0,69 ± 0,10	0,40 ± 0,15	0,58 ± 0,12
Категория состояния	0,31 ± 0,17	0,12 ± 0,18	0,05 ± 0,18
Ослабленное насаждение			
Высота, м	0,61 ± 0,11	0,51 ± 0,13	0,44 ± 0,15
Диаметр, см	0,87 ± 0,05	0,79 ± 0,07	0,83 ± 0,05
Высота поднятия кроны, м	0,53 ± 0,13	0,26 ± 0,17	0,49 ± 0,14
Возраст, лет	0,78 ± 0,07	0,55 ± 0,13	0,77 ± 0,07
Категория состояния	–	–	–
Сильно ослабленное насаждение			
Высота, м	0,36 ± 0,16	0,60 ± 0,12	0,67 ± 0,10
Диаметр, см	0,79 ± 0,07	0,68 ± 0,10	0,51 ± 0,13
Высота поднятия кроны, м	0,39 ± 0,16	0,59 ± 0,12	0,66 ± 0,10
Возраст, лет	0,72 ± 0,09	0,40 ± 0,16	0,73 ± 0,08
Категория состояния	0,31 ± 0,17	0,60 ± 0,12	0,29 ± 0,17

рева. Обнаружена высокая криволинейная связь влажности заболонной древесины с диаметром древесного ствола и возрастом дерева, за исключением пробной площади с одновозрастным насаждением, где прослеживается умеренная зависимость.

Изменение влажности заболонной древесины с возрастом аппроксимируется уравнением параболы 4-го порядка:

$$y = -0,0001 \cdot x^4 + 0,019 \cdot x^3 - 1,13 \cdot x^2 + 29,06 \cdot x - 219,75 \quad (R^2 = 0,49),$$

где y – влажность заболонной древесины, %; x – возраст дерева, лет.

В возрасте от 30 до 50 лет влажность заболони древесины составляет от 40 до 50 %. Отмечается снижение влажности заболонной древесины в более молодом возрасте. К 60 годам данный показатель может возрастать до 70 %, а у перестойных деревьев влажность функционально активной зоны древесины снижается. Основное количество деревьев с диаметром от 30 до 80 см имеют влажность заболонной зоны древесины от 40 до 50 %.

Влага распределена неравномерно по периметру заболонной древесины в поперечном сечении ствола. Различия могут достигать 45 %. Приуроченность повышенной влажности к определенной стороне не отмечается. Так, у 57 % деревьев отмечается повышенная влажность заболонной древесины с северной стороны, у 43 % деревьев – с южной стороны. Можно предположить влияние на влажность заболонной древесины механических повреждений. Это вполне оправдывает низкий уровень влажности в отдельных участках заболони. Участок заболони с влажностью от 20 до 28 % (на абсолютно сухой вес) или от 15 до 20 % (на влажный вес) нельзя характеризовать физиологически активным. Так, интенсивность механических повреждений от 20 до 60 % приводит к колебаниям влажности по периметру заболони от 10 до 20 % соответственно. Интенсивность повреждения древесного ствола некрозом от 15 до 20 % вызывает изменение влажности заболонной древесины от 10 до 14 % соответственно.

Влажность ядровой древесины – довольно стабильный показатель. Коэффициент изменчивости составляет от 4 до 8 %, что указывает на малую изменчивость показателя. Однако выявлена корреляционная зависимость влажности ядровой древесины от диаметра дерева. На всех пробных площадях связь криволинейная достоверная от значительной до высокой (табл. 3). В ослабленном насаждении изменение влажности ядровой древесины в зависимости от диаметра дерева аппроксимируется уравнением параболы 3-го порядка:

$$y = -0,0007 \cdot x^3 + 0,12 \cdot x^2 - 6,23 \cdot x + 155,89 \\ (R^2 = 0,52),$$

где y – влажность ядровой древесины, %; x – диаметр дерева, см.

При диаметрах ствола тополя от 30 до 50 см влажность ядровой древесины составляет от 45 до 55 %, при диаметрах ствола от 55 до 65 см – 55–60 %, при диаметрах более 70 см – превышает 60 %.

В сильно ослабленном насаждении влажность ядровой древесины коррелирует с высотой поднятия кроны и категорией состояния дерева. Отмечается тенденция увеличения влажности ядровой древесины тополя с уменьшением высоты поднятия кроны дерева и ее снижения с ухудшением состояния дерева.

Большой изменчивостью характеризуется ширина заболонной древесины тополя. Она зависит практически от всех исследуемых морфометрических характеристик дерева. В относительно здоровом насаждении отмечается очень высокая корреляционная зависимость от диаметра дерева (см. табл. 2). Зависимость ширины заболонной зоны дерева от его диаметра линейная (рис. 1). С увеличением диаметра дерева ширина заболонной зоны возрастает. Следующим по значимости влияния показателем является высота дерева. Отмечается тенденция увеличения ширины водопроводящей зоны с увеличением высоты дерева.

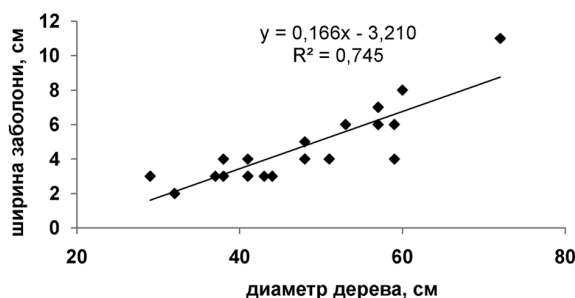


Рис. 1. Зависимость ширины заболони от диаметра дерева в относительно здоровом насаждении

В ослабленном насаждении отмечается высокая корреляционная криволинейная зависимость от диаметра дерева. Следующим по значимости влияния показателем является возраст дерева.

В сильно ослабленном насаждении главным фактором, влияющим на ширину заболони, выступает возраст дерева.

В распределении влажности по радиусу древесного ствола можно выделить 3 схемы: 1) плавное повышение влажности от камбия к ядровой древесине (у 20 % деревьев); 2) одинаковая влажность на всем поперечном сечении ствола дерева (у 13 % деревьев); 3) наружный сантиметр заболони имеет наибольшую влажность, равную влажности ядровой древесины, перепад влажности на границе между заболонной и ядровой зонами древесины может достигать 30 % (у 60 % деревьев). Корреляционная связь влажности древесины с расстоянием до камбия – высокая криволинейная достоверная ($\eta = 0,80 \pm 0,05$). При различии влажности заболонной и ядровой зон древесины более 30 % корреляционная зависимость становится очень высокой ($\eta = 0,91 \pm 0,03$). Зависимость влажности древесины от расстояния от камбия аппроксимируется уравнением параболы 5-го порядка вида

$$y = a - b \cdot x + c \cdot x^2 - d \cdot x^3 + e \cdot x^4 - f \cdot x^5$$

(рис. 2, 3). У деревьев с меньшим диаметром более резкий скачок влажности от заболонной к ядровой древесине и влажность древесины более изменчива на протяжении ядровой части по сравнению с деревьями, имеющими диаметр более 50 см.

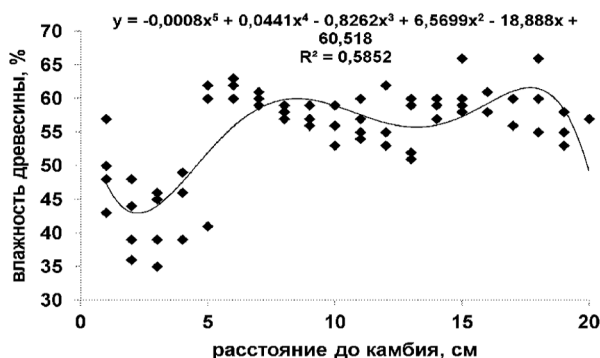


Рис. 2. Зависимость влажности древесины тополя от расстояния до камбия у деревьев с диаметром до 40 см

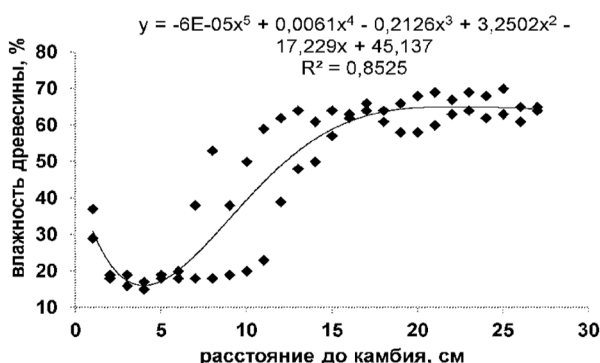


Рис. 3. Зависимость влажности древесины тополя от расстояния до камбия у деревьев с диаметром более 50 см

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Средняя влажность заболонной древесины составляет порядка 44 %, а средняя влажность ядровой зоны – 58 %. В среднем ширина заболонной зоны древесины – 4,7 см (25 % от радиуса древесного ствола). Влажность заболонной древесины зависит от диаметра и возраста дерева. По периметру заболонной древесины различие во влажности может достигать 45 %. Амплитуда изменений влажности зависит от интенсивности механических повреждений и некрозов. Влажность ядровой древесины зависит от диаметра и категории состояния дерева. Ширина заболони тополя зависит практически от всех исследуемых морфометрических характеристик дерева. В относительно здоровом насаждении на ширину заболонной зоны древесины наибольшее влияние оказывает диаметр и высота дерева, в ослабленном насаждении – диаметр и возраст, а в сильно ослабленном насаждении – только возраст дерева. Наиболее часто встречаемая закономерность распределения влаги по радиусу древесного ствола тополя (у 60 % деревьев): наружный сантиметр заболони имеет наибольшую влажность, равную влажности ядровой древесины, перепад влажности на границе между заболонной и ядровой зонами древесины может достигать 30 %, далее высокий уровень влажности поддерживается на протяжении всей ядровой древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бюсген М. Строение и жизнь наших лесных деревьев. М.: Гослесбумиздат, 1961. 424 с.
2. Веретенников А. В. Физиология растений с основами биохимии. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1987. 254 с.
3. Веретенников А. В. Физиология растений. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2002. 272 с.
4. Жидкова Н. Ю., Феклистов П. А. Биологические особенности тополя бальзамического в условиях г. Архангельска // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов. 2001. Вып. VII. С. 8–10.
5. Крамер П. Д., Козловский Т. Г. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 464 с.
6. Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г. - Н. Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
7. Никитин Н. И. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: АН СССР, 1962. 711 с.
8. Редько Г. И. Биология и культура тополей. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1975. 174 с.
9. Редько Г. И. Влажность заболонной и ядровой древесины тополей // Лесной журнал. 1964. № 2. С. 132–136.
10. Редько Г. И., Коротаев А. А. Борьба с плодоношением тополей в городских условиях (обзорная информация). М.: ВНИИЦлесресурс Госкомлеса СССР, 1991. 28 с.
11. Рейвн П., Эверт Р., Айкхорн С. Современная ботаника. М.: Мир, 1990. Т. 2. 344 с.
12. Сенькина С. Н. Водный режим сосны и ели в фитоценозах Севера. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 104 с.
13. Уродкова О. Н., Феклистов П. А. О проведении воды годичными кольцами деревьев в сосняке кустарничково-сфагновом осушенном // Экологические проблемы Севера. Архангельск, 2000. Вып. 3. С. 45–51.
14. Balatinecz J. J., Kretschmann D. E. Properties and utilization of poplar wood // Poplar Culture in North America. Part A. Chapter 9. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON KIA OR6, Canada, 2001. P. 277–291.
15. Huda A. S. M., Azmul, Koubaa Ahmed, Cloutier Alain, Hernández Roger E. and Fortin Yves. Variation of the Physical and Mechanical Properties of Hybrid Poplar Clones // BioResources. 2014. № 9(1). P. 1456–1471.
16. Wallin W. B. Wetwood in Balsam Poplar // Minnesota Forestry Notes. 1954. № 28. April 15. P. 1–2.

Tyukavina O. N., Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation)
Churkina Yu. V., Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russian Federation)

WOOD MOISTURE OF THE ROUGH-BARK POPLAR

The content of wood moisture is one of the evaluation criteria of the poplars' viability. The purpose of the study is to evaluate the nature of relative moisture distribution in the wood of the poplar trunk cross-section and to identify the content of moisture dependent on morphometric characteristics of the tree. The studies on the content of wood moisture were conducted on the tree trunk samples taken at the height of 1,3 m. from the ground. The samples were obtained by coring both the northern and the

southern sides of the tree. The content of wood moisture was measured in dry particles of 10 mm long by gravimetric method. The average content of wood moisture in the rough-bark poplar is 55 %. The average content of moisture in sapwood is about 44 %, and the average content of wood moisture in the heartwood area – 58 %. The average width of the sapwood is 4,7 cm. (25 %). The content of moisture in sapwood area is moderately variable and depends on the diameter and the age of the tree. The amount of distributed moisture depends on the size of the sapwood cross section. The difference can reach 45 %. The severity of necrosis effect on the content of wood moisture in the sapwood cross section depends on the diameter and category of the tree. The width of the poplar sapwood is characterized by high variability. It depends on morphometric characteristics of the wood. We distinguished three schemes of moisture distribution along the radius of the tree trunk: 1) gradual increase of moisture from the cambium to the heartwood section (20 % of the trees); 2) even distribution of moisture along the cross-section of the tree trunk (13 % of the trees); 3) high level of moisture on the outer centimeter of the sapwood trunk. The difference in the level of moisture along the boundary of the sapwood and heartwood timber area can reach 30 % (60 % of the trees).

Key words: wood moisture, sapwood, core wood, the sapwood width, rough bark poplar

REFERENCES

1. Byusgen M. *Stroenie i zhizn' nashikh lesnykh derev'ev* [The Structure and life of our forest trees]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1961. 424 p.
2. Veretennikov A. V. *Fiziologiya rasteniy s osnovami biokhimii* [Physiology of a plant with the basics of biochemistry]. Voronezh, Izd-vo Voronezhskogo un-ta, 1987. 254 p.
3. Veretennikov A. V. *Fiziologiya rasteniy* [Physiology of the plant]. Voronezh, Izd-vo Voronezhskogo un-ta, 2002. 272 p.
4. Zhidkova N. Yu., Feklistov P. A. Biological features of balsam poplar in conditions of Arkhangelsk [Biologicheskie osobennosti topolya bal'zamicheskogo v usloviyakh g. Arkhangel'skaj]. *Okhrana okruzhayushchey sredy i ratsional'noe ispol'zovanie prirodnnykh resursov*. 2001. Issue VII. P. 8–10.
5. Kramer P. D., Kozlovskiy T. G. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 464 p.
6. Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G. - N. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 424 p.
7. Nikitin N. I. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow; Leningrad, AN SSSR Publ., 1962. 711 p.
8. Red'ko G. I. *Biologiya i kul'tura topoley* [Biology and culture of poplars]. Leningrad, Izd-vo Leningradskogo un-ta, 1975. 174 p.
9. Red'ko G. I. Moisture of the poplar's sapwood and heartwood [Vlazhnost' zabolonnoy i yadrovoy drevesiny topoley]. *Lesnoy zhurnal*. 1964. № 2. P. 132–136.
10. Red'ko G. I., Korotaev A. A. *Bor'ba s plodonosheniem topoley v gorodskikh usloviyakh (obzornaya informatsiya)* [Fighting fruiting poplars in urban environment (overview)]. Moscow, VNIITslesresurs Goskomlesa SSSR Publ., 1991. 28 p.
11. Reyvn P., Evert R., Aykkhorn S. *Sovremennaya botanika* [Modern botany]. Moscow, Mir Publ., 1990. Vol. 2. 344 p.
12. Sen'kina S. N. *Vodnyy rezhim sosny i eli v fitotsenozakh Severa* [Water regime of pine and spruce trees in the plant communities of the North]. Ekaterinburg, RIO UrO RAN Publ., 2013. 104 p.
13. Urodkova O. N., Feklistov P. A. On the water transfer by tree rings of the drained pine shrub-sphagnum [O provedenii vody godichnymi kol'tsami derev'ev v sosnyake kustarnichkovo-sfagnovom osushennom]. *Ekologicheskie problemy Severa*. 2000. Issue 3. P. 45–51.
14. Balatinecz J. J., Kretschmann D. E. Properties and utilization of poplar wood // *Poplar Culture in North America*. Part A. Chapter 9. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON KIA OR6, Canada, 2001. P. 277–291.
15. Huda A. S. M. Azmul, Koubaa Ahmed, Cloutier Alain, Hernández Roger E. and Fortin Yves. Variation of the Physical and Mechanical Properties of Hybrid Poplar Clones // *BioResources*. 2014. № 9(1). P. 1456–1471.
16. Wallin W. B. Wetwood in Balsam Poplar // *Minnesota Forestry Notes*. 1954. № 28. April 15. P. 1–2.

Поступила в редакцию 07.11.2014

ВЯЧЕСЛАВ ПЕТРОВИЧ ОРФИНСКИЙ

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

ИРИНА ЕВГЕНЬЕВНА ГРИШИНА

заместитель директора НИИ историко-теоретических проблем народного зодчества, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
niinaz@karelia.ru

МАРГАРИТА ВАСИЛЬЕВНА КИСТЕРНАЯ

кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела учета и хранения недвижимых памятников, Государственный историко-архитектурный и этнографический музей-заповедник «Кижи» (Петрозаводск, Российская Федерация)
kisternaya@kizhi.karelia.ru

ВАЛЕРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КОЗЛОВ

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоведения и лесоводства, Институт леса Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
vkozlov@krc.karelia.ru

ЧАСОВНЯ ЗНАМЕНИЯ БОГОРОДИЦЫ В ДЕРЕВНЕ КОРБА: ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ХРОНОЛОГИЧЕСКОЙ АТРИБУЦИИ*

Часовня Знамения Богородицы в заонежской деревне Корба (Медвежьегорский район Республики Карелия) имеет длительную историю изучения, но единого мнения о ее строительной истории не сложилось. Авторами предпринята попытка определить даты возведения часовни и ее реконструкций с помощью метода комплексной хронологической атрибуции памятников деревянного зодчества, включающего архитектурные и дендрохронологические исследования. Время возведения часовни определялось на основании натурных обследований и типологического анализа памятника с применением архитектурно-археологической шкалы для датировки церквей и часовен Карелии. Учтены данные о времени написания икон – «иконного щита» с храмовой иконой Знамения Богородицы, потолка-«неба», поздних икон 1940-х годов. Выявлены два строительных периода часовни: возведение молитвенного помещения и пониженного притвора в первый из них (вторая половина XVIII века) и пристройка сеней с надстроенной над их западной частью колокольней во второй (вторая половина XVIII – первая половина XIX века). Как показал дендрохронологический анализ, для строительства памятника использовалась широколистная древесина с малым количеством годичных колец, что не позволило однозначно датировать образцы. Получены две возможные даты заготовки бревен для строительства – 1765 или 1824 год; наличие двух строительных этапов в развитии часовни не выявлено. Разночтения между архитектурными и дендрохронологическими данными требуют дальнейших исследований памятника. На настоящее время формирование часовни может быть датировано в широком временном интервале второй половиной XVIII – первой половиной XIX века без конкретизации даты второго строительного периода за отсутствием точных подтверждений о времени реконструкции храма – пристройки сеней и колокольни.

Ключевые слова: традиционное деревянное зодчество, часовни, хронологическая атрибуция, строительные периоды,

Часовня во имя иконы Пресвятой Богородицы «Знамение» расположена на западном берегу острова Большой Клименецкий, на мысу к северу от старинной заонежской деревни Корба (рис. 1). Храм стоит почти у самой воды, хорошо виден при движении по фарватеру к острову Кижи и является одним из самых выразительных элементов музейного сектора «Кижское ожерелье».

Часовня представляет собой трехкамерную равновысокую и равноширокую клетскую постройку, состоящую из квадратного в плане молитвенного помещения (кафоликона), поперечно-прямоугольного притвора и продольно-прямоугольных сеней. Над западной частью сеней надстроена 20-метровая колокольня, самая высокая из существующих часовенных колоколен Заонежья, в первую очередь привлекающая



Часовня Знамения Богородицы в деревне Корба.
Вид с юго-востока. Фото Б. Бойцова, 1970-е гг.
Архив НИИНаЗ ПетрГУ

внимание при осмотре часовни своей выраженной ярусностью и стройным венчающим шатром. Колокольный столп в виде восьмерика на четвериковом, вертикальных пропорций основании срублен из круглых бревен «в обло». Восьмерик имеет развитый повал, подчеркнутый широкими свесами кровли. Ярус звона – с двойными угловыми столбами, внешние из которых объединены двухвенцовой брусчатой верхней обвязкой, рубленной с остатком; выпуски нижнего венца обвязки порезаны в виде кронштейнов. Богатую архитектурную пластику колокольни дополняют резные подзоры и красный тес кровель и полиц.

Другими особенностями часовни являются разобранный в 1969 году перекрытие над кафоликоном в виде восьмиклинного купола-«неба» и широкий арочный проем, объединяющий кафоликон и притвор, а также комплекс икон, главной из которых был иконный щит – «иконостас», уникальный для часовен Заонежья [6; 130].

По данным Ларса Петтерссона, часовня была срублена в 1780–1820 годах, датировка основана на анализе росписи икон «неба» [8; 79, 93]. Выделяя второй строительный период, связанный с устройством окна в северной стене притвора и заменой одинарного южного окна кафолика сдвоенным, Л. Петтерссон не указывает его время. Также он выделил третий период, во время которого перед входом появилось крыльцо, храм был обшит, главки покрыты железом. По данным Л. Петтерссона, реконструкция произошла в 1842–1843 годах, датировка основана на росписи икон, написание которых, по его мнению, нахо-

дится в непосредственной связи с произошедшими изменениями в облике храма [8; 79, 93].

В 1945 году московские архитекторы А. Н. Буйнов и И. К. Рыбченко выполнили обмеры часовни, но не оставили описания его строительной истории¹.

Архитектор-реставратор А. В. Ополовников, обследовавший памятник в 1950-х годах при подготовке проекта его реставрации, считал, что подобно другим часовням кижской округи храм в Корбе пережил два строительных этапа (возведение бесколокольной часовни и последующую надстройку колокольни), но не указал датировки этих этапов [3; 189]. К третьему историческому строительному этапу Ополовников отнес, не уточняя детально, деградацию форм часовни в конце XIX века [3; 189].

По данным паспорта памятника, составленного С. В. Куликовым и С. В. Воробьевой, часовня была срублена в середине XVIII века, время устройства колокольни относится к середине XIX века, а появление обшивки и устройство дополнительных оконных проемов – к концу XIX – началу XX века. Датировки основаны на анализе архитектурно-конструктивных особенностей².

На основании исследований внутреннего убранства часовни Г. И. Фролова сделала вывод о том, что центральный комплекс икон храма – «иконный щит», включающий образ «Богоматерь Знамение», написан во второй половине XVIII века. Роспись потолка-«неба» относится к концу XVIII века, ряд икон датирован первой половиной XIX века, в том числе одна из них («Страшный суд») – 1843 годом [6; 130]. Данные о времени росписи икон и «неба» являются ориентиром для определения даты возведения часовни и ее реконструкций.

Строительная история Знаменской часовни исследовалась методом комплексной хронологической атрибуции, предполагающей определение предварительных хронологических границ для каждого выявленного строительного периода храма с помощью архитектурно-археологической шкалы для датирования культовых построек по типологическим признакам [5]; отбор образцов древесины, относящихся к предполагаемым строительным периодам, и их дендрохронологический анализ; корректировку по результатам сопоставления архитектурных и дендрохронологических датировок. Методика применялась авторами при определении строительной истории других часовен Заонежья и опубликована [1], [2], [4].

Анализ документов и натурные исследования памятника позволили выявить два строительных периода в его истории: возведение двухкамерной часовни в первый период и пристройку сеней и колокольни – во второй.

Первоначально была срублена двухкамерная равноширокая и разновысокая часовня (судя по следам крыши на внутренней поперечной стене)

с квадратным кафоликоном. Период наиболее вероятного распространения таких храмов – вторая половина XVII – первая половина XVIII века [5; 223]. Кафоликон перекрывало восьмипольное «небо», период вероятного распространения которого относится к первой половине XIX века [5; 225], но исследования росписи относят «небо» к концу XVIII века [6; 130]. Покрытие кафолика было устроено по следам, врубленным в каждую пару самцов; наиболее вероятный период распространения такого конструктивного приема – первая половина XVIII века [5; 226], а первоначальной безгвоздевой кровли по курицам и потокам – с первой половины XVIII по первую половину XIX века включительно [5; 226].

Решения дверных и оконных колод, как признаки, имеющие самые узкие временные интервалы бытования, относятся к важнейшим для хронологической атрибуции деревянных построек. Входная трехкосячатая дверь с сопряжением косяков вверх «в ус» с гребнем и запличиками, внизу – прямо (тип Д/1) была наиболее широко распространена во второй половине XVIII века [5; 227]. Судя по следам, молитвенное помещение, как и притвор, освещалось трехкосячатыми окнами типа Д/1, период наиболее вероятного бытования которых относится ко второй половине XVIII – первой четверти XIX века [5; 227]. Скосы, расположенные с их внутренней стороны оконных колод молитвенного помещения, в качестве датирующего признака обладают меньшей весомостью, их наибольшее распространение относится к широкому хронологическому интервалу – со второй половины XVIII до начала XX века включительно [5; 227].

Таким образом, временной разброс датирующих признаков первого строительного периода позволяет предварительно датировать часовню в пределах XVIII века; с учетом данных о росписи икон иконостаса можно конкретизировать датировку второй половиной XVIII века.

Второй строительный период связан с реконструкцией часовни. В это время к притвору пристроили трехстенки сеней, над западной частью которых возвели колокольню. Примечательно, что отдельные бревна новых сеней заведены в сруб первоначальной часовни (молитвенного помещения и притвора) и соединены с его бревнами при помощи врубки «косой зуб». Другие бревна трехстенки стыкуются с основным срубом в чашах западной стены притвора. Судя по особенностям стыковки старого и нового сруба, во время реконструкции стены молитвенного помещения и притвора могли быть подвергнуты переборке. В это же время увеличили высоту притвора, объединив его единой крышей с молитвенным помещением. Потолок в притворе подняли на два венца. Возможно, в то же время произошло объединение притвора и молитвенного помещения с помощью широкого арочного

проема между ними, смещение к северной стене двери между притвором и сенями, а также устройство в притворе дополнительного северного окна.

При определении датировки второго строительного периода часовни важную роль играют датирующие признаки колокольни. Блокировка колоколен с часовнями в Карелии, и в Заонежье в частности, начала появляться только во второй половине XVIII века, что ограничивает нижний предел датировок второго строительного периода.

Вероятные и наиболее вероятные хронологические границы бытования неотесанных рубленных «в обло» с повалами стен колокольни, а также двойных угловых столбов яруса звона, наружные из которых объединены брусчатой обвязкой, приурочены ко второй половине XVIII – первой половине XIX века [5; 223–224]. Однако дверные и оконные колоды сеней, аналогичные конструкциям проемов в молитвенном помещении (тип Д/1), и наружные столбы яруса звона колокольни, порезанные попарно зеркальными «кувшинчиками», бытовали преимущественно во второй половине XVIII века [5; 227–228]. По совокупности датирующих признаков второй строительный период часовни может быть отнесен ко второй половине XVIII – первой половине XIX века.

В целом хронологическая атрибуция часовни Знамения по архитектурно-археологической шкале позволяет рассматривать строительную историю часовни в широких временных пределах – от XVIII до первой половины XIX века.

Для конкретизации времени возведения и реконструкции часовни проведен дендрохронологический анализ 12 образцов (кернов) древесины, взятых из двух пар ее помещений (кафолика и притвора; сеней и колокольни), относящихся предположительно к двум строительным периодам (табл. 1). Анализ проводился по стандартной методике, описанной нами ранее [4]. В работе использовалась локальная шкала для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), разработанная специально для прибрежной зоны Онежского озера (61°30'–62°30' N, 33°–34° E), охватывающая временной интервал 1550–2000 годы [7]. Результаты анализа образцов представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 1, для строительства часовни использовалась очень широкослойная древесина с незначительным количеством годовичных колец. Для деревьев характерны равномерный прирост во всем временном диапазоне и четко просматриваемый возрастной тренд.

Задача датирования образцов с небольшим количеством годовичных колец с помощью метода дендрохронологии очень сложна. Именно поэтому в табл. 2 для каждого образца приведены несколько возможных дат рубки, для которых коэффициент корреляции с локальной шкалой достаточно высок.

Таблица 1

Характеристика образцов древесины часовни в д. Корба

№ керна	Количество годовичных слоев	Средняя ширина годовичного кольца, мм	Место отбора образцов
Молитвенное помещение			
К 1	58	1,72	Восточная стена, 7-е бревно снизу
К 2	72	1,74	Северная стена, 7-е бревно снизу
К 3	53	2,38	Северная стена, 6-е бревно снизу
К 5	37	2,7	Западная стена, чердак, 2-е бревно под лазом
К 6	34	3,03	Западная стена, чердак, 1-е бревно под лазом
Притвор			
К 4	52	1,98	Западная стена, 7-е бревно от пола
К 7	52	1,62	Западная стена, чердак, бревно у лаза
К 10	69	1,84	Западная стена, бревно под дверью
Сени			
К 11	44	2,79	Северная стена, 5-е бревно от пола
Восьмерик колокольни			
К 8	43	3,4	Северная стена, 2-е бревно снизу
К 9	42	3,71	Западная стена, 2-е бревно снизу
К 12	39	3,08	Южная стена, 8-е бревно снизу

Наиболее вероятный период рубки древесины для часовни Знамения Богородицы – 1760-е годы (1765 ± 5). Эти результаты получены для большинства отобранных образцов, в том числе и для тех, в которых хронологии представлены максимальным количеством годовичных слоев (образцы № 1–4, 7, 10).

Датировка образцов № 5 и 6, имеющих самое малое количество годовичных колец, менее достоверна. Однако и для них достаточно высока корреляция на период 1765 ± 5 лет. На этот же период приходятся и наиболее вероятные даты рубки древесины для конструкций восьмерика звонницы (образцы № 8 и 9).

Достаточно высокий коэффициент корреляции индивидуальных хронологий и локальной шкалы, приходящийся на 1828 ± 5 лет, объясняется незначительным количеством годовичных колец и равномерностью прироста.

Дендрохронологический анализ не выявил наличия двух строительных этапов, определенных по архитектурно-археологической шкале для церквей и часовен Карелии. Образцы, имеющие вторую или единственную датировку 1828 ± 5 лет, не могут рассматриваться как принадлежащие вто-

Таблица 2

Результаты дендрохронологического анализа образцов древесины часовни в д. Корба

№ керна	Предполагаемый год заготовки древесины	Коэфф. корреляции с локальной шкалой «Заонежье»
Молитвенное помещение		
К 1	1771 (+3)*	0,70
К 2	1774 1794	0,65 0,70
К 3	1764	0,72
К 5	1766 (+2)* 1823	0,75 0,70
К 6	1767 1828	0,73 0,65
Притвор		
К 4	1751 (+5)* 1822	0,65 0,60
К 7	1750 (+6)*	0,7
К 10	1780	0,65
Сени		
К 11	1762 1813 1833	0,70 0,65 0,68
Восьмерик колокольни		
К 8	1770	0,75
К 9	1766	0,70
К 12	1760 1808	0,72 0,65

Примечание. * – добавлены годовичные кольца, вероятно, утраченные при стесывании в процессе рубки часовни.

рому строительному периоду, так как происходят из всех помещений храма, в том числе и срубленных в первую очередь кафоликона и притвора.

Между тем архитектурные исследования свидетельствуют о проведенной реконструкции часовни: на западной стене кафоликона с наружной стороны сохранились явные следы примыкания более низкой крыши притвора; древесина выше и ниже линии примыкания отличается по цвету и фактуре. Можно было бы предположить, что часовня действительно была изначально возведена трехчастной с повышенным кафоликоном и колокольней, а в процессе реконструкции произошло только объединение крыш кафоликона, притвора и сеней под один конек. Но такому предположению противоречит история изменения плана часовни: бесспорно, что необычно большие продольно-прямоугольные сени потребовались в связи с тем, что кафоликон и первоначальный притвор объединили в одно молитвенное помещение. Такие преобразования функционально-планировочной структуры часовен стали распространяться в Карелии в XIX веке, особенно в его второй половине [5; 223], и всегда проводились в ходе реконструкций. Следовательно, колокольня,

возведенная над сенями, также появилась при реконструкции и принадлежит второму строительному периоду часовни.

Косвенно о том, что главной задачей реконструкции было увеличение вместимости храма, свидетельствует надстройка колокольни в Корбе только над западной частью сеней из-за чрезмерной их вытянутости в меридиональном направлении. Обычным же решением было опирание четверика колокольного столпа на обе поперечные стены сеней, что выглядело более тектоничным и убедительным в композиционном отношении.

Противоречия между архитектурными данными и результатами дендрохронологического анализа связаны со сложностью последнего для широкослойной древесины (от 1,62 до 3,71 мм) с малым числом годовых колец (от 34 до 72). В связи с неуверенной датировкой образцов древесины памятника, по совокупности датирующих архитектурно-конструктивных признаков

с учетом сведений о росписи икон можно датировать первый и второй строительные периоды часовни только в широких временных границах от второй половины XVIII – до первой половины XIX века включительно. За неимением точных данных конкретизировать дату второго строительного периода в настоящее время не представляется возможным.

Последующие изменения в облике часовни связаны с появлением внутренней и наружной обшивки, окраски фасадов и декоративных деталей, покрытия главок кровельным железом. В то же время одинарное южное окно заменили на сдвоенное и заложили северное окно в притворе. Учитывая, что все выявленные хронологические границы наружной и внутренней обшивки с применением кованых и тянутых гвоздей приурочены к периоду со второй половины XIX до начала XX века, третий строительный период можно отнести именно к этому времени [5; 225].

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

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ Часовня Знамения Богородицы в деревне Корба. Обмерные чертежи. Авторы А. Н. Буйнов, И. К. Рыбченко. 1945 г. Научный архив музея-заповедника «Кижский». № 957.

² Часовня Знамения Богородицы в деревне Корба. Паспорт № 1396 от 8.06.1988. Составители С. В. Куликов, С. В. Воробьева. Архив Республиканского центра по государственной охране объектов культурного наследия Министерства культуры Республики Карелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришина И. Е., Кистерная М. В., Козлов В. А. Комплексная хронологическая атрибуция часовни в заонежской деревне Подъельники // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: «Естественные и технические науки». 2014. № 8 (145). Т. 2. С. 86–90.
2. Козлов В. А., Орлов А. В., Кистерная М. В. Проблемы датировки некоторых часовен музея-заповедника «Кижский» // Рябининские чтения 2011: Материалы VI конференции по изучению и актуализации культурного наследия Русского Севера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 72–75.
3. Ополонников А. В. Русское деревянное зодчество. М.: Искусство, 1986. 312 с.
4. Орлов А. В., Кистерная М. В., Козлов В. А. Комплексная хронологическая атрибуция часовни Спаса Нерукотворного из заонежской деревни Вигово // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2010. № 8 (113). С. 64–70.
5. Орфинский В. П., Яскеляйнен А. Т. Хронологическая атрибуция сооружений народного деревянного культового зодчества // Орфинский В. П., Гришина И. Е. Типология деревянного культового зодчества Русского Севера. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. С. 220–230.
6. Фролова Г. И. Внутреннее убранство часовен Спасо-Кижского погоста // Кижский вестник. Петрозаводск, 2002. № 7. С. 115–139.
7. Kozlov V., Kisternaya M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in North Russia // Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology. 2004. № 209. P. 103–111.
8. Pettersson L. Äänisniemen kirkollinen puuarkkitehtuuri. Helsinki, 1950. 342 s.

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

Grishina I. E., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Kisternaya M. V., Federal State Budget Institution “Kizhi State Open Air Museum of History, Architecture and Ethnography” (Petrozavodsk, Russian Federation)

Kozlov V. A., Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

OUR LADY OF THE SIGN CHAPEL IN KORBA. PROBLEMS OF RESEARCH AND CHRONOLOGICAL ATTRIBUTION

The authors made an attempt to determine the date of the chapel's erection and its further reconstruction by the complex chronological attribution approach towards historic timber structures. The approach integrates architectural and dendrochronological analysis. The date of the chapel's erection was determined by an in-situ inspection and a typological analysis based on the architectural-

archeological scale for dating of Karelian churches and chapels. Data on the painting time of the chapel's icons (the icon board with the chapel's icon of Our Lady of the Sign, chapel's sky icons and the latest icons painted in 1940's) was taken into account. The research revealed two building stages in the chapel's history. The eastern part and the lower narthex were built at the second part of the XVIII century. The passage with a belfry built over its western part was added in the second half of the XVIII – first half of the XIX centuries. Dendrochronological analysis showed that the structure was built from young trees with a wide-ringed wood. It enabled identification of the samples' exact dating. Two possible dates of the tree logging were obtained – 1765 and 1824, the presence of two building stages was not revealed. The incompatibility between architectural and dendrochronological data requires further investigation of the structure. At present, the chapel may be dated by a wide time interval – from the second half of the XVIII to the first half of the XIX centuries, with uncertain dates for the second construction stage due to the lack of evidence for the chapel's reconstruction, namely the addition of the passage and the belfry.

Key words: traditional wooden architecture, chapels, chronological attribution, building stages, architectural-archeological scale, dendrochronology, Scots pine

REFERENCES

1. Grishina I. E., Kisternaya M. V., Kozlov V. A. Overall chronological attribution of the Chapel in Zaonezhye village of Pod'yel'niki [Kompleksnaya khronologicheskaya atributsiya chasovni v zaonezhskoy derevne Pod'yel'niki]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2014. Vol. 2. № 8 (145). P. 86–90.
2. Kozlov V. A., Orlov A. V., Kisternaya M. V. The problem of dating some of the chapels of the museum-reserve "Kizhi" [Problemy datirovki nekotorykh chasoven muzeya-zapovednika "Kizhi"]. *Ryabininskie chteniya 2011: Materialy VI konferentsii po izucheniyu i aktualizatsii kul'turnogo naslediya Russkogo Severa*. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2011. P. 72–75.
3. Opolovnikov A. V. *Russkoe derevyannoe zодchestvo* [Russian wooden architecture]. Moscow, Iskusstvo Publ., 1986. 312 p.
4. Orlov A. V., Kisternaya M. V., Kozlov V. A. Overall chronological attribution of the Chapel of the Vernicle in Zaonezhye village of Vigovo [Kompleksnaya khronologicheskaya atributsiya chasovni Spasa Nerukotvornogo iz zaonezhskoy derevni Vigovo]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2010. № 8 (113). P. 64–70.
5. Orfinskiy V. P., Yaskelyaynen A. T. Chronological attribution of folk wooden cult architecture [Khronologicheskaya atributsiya sooruzheniy narodnogo derevyannogo kul'tovogo zодchestva]. *Orfinskiy V. P., Grishina I. E. Tipologiya derevyannogo kul'tovogo zодchestva Russkogo Severa*. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU Publ., 2004. P. 220–230.
6. Frolova G. I. The interior chapels of Kizhi churchyard [Vnutrennee ubranstvo chasoven Spaso-Kizhskogo pogosta]. *Kizhskiy vestnik*. Petrozavodsk, 2002. № 7. P. 115–139.
7. Kozlov V., Kisternaya M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in North Russia // *Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology*. 2004. № 209. P. 103–111.
8. Pettersson L. *Äänisniemen kirkollinen puuarkkitehtuuri*. Helsinki, 1950. 342 s.

Поступила в редакцию 19.08.2015

УДК 72.03(470.22):630.561.1.24

ТАТЬЯНА ИВАНОВНА ВАХРАМЕЕВА

кандидат архитектуры, директор, ЗАО «ЛАД» (Петрозаводск, Российская Федерация)
vahram@karelia.ru

ИРИНА ЕВГЕНЬЕВНА ГРИШИНА

заместитель директора НИИ историко-теоретических проблем народного зодчества, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
niinaz@karelia.ru

МАРГАРИТА ВАСИЛЬЕВНА КИСТЕРНАЯ

кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела учета и хранения недвижимых памятников, Государственный историко-архитектурный и этнографический музей-заповедник «Кижи» (Петрозаводск, Российская Федерация)
kisternaya@kizhi.karelia.ru

ВАЛЕРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ КОЗЛОВ

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории лесных биотехнологий, Институт леса Карельского научного центра РАН (Петрозаводск, Российская Федерация)
vkozlov@krc.karelia.ru

АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ОРЛОВ

инженер НИИ историко-теоретических проблем народного зодчества, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
niinaz@karelia.ru

СТРОИТЕЛЬНАЯ ИСТОРИЯ ЧАСОВНИ КИРИКА И ИУЛИТЫ В ЗАОНЕЖСКОЙ ДЕРЕВНЕ ВОРОБЬИ*

Строительная история заонежской часовни Кирика и Иулиты в деревне Воробьи выявлена с помощью метода комплексной хронологической атрибуции памятников деревянного зодчества. Время возведения часовни определено на основании натурных обследований и типологического анализа памятника с применением архитектурно-археологической шкалы для датировки церквей и часовен Карелии. Учтены архивные сведения 1940–1980-х годов. С помощью дендрохронологического исследования образцов древесины с использованием авторской локальной дендрошкалы «Заонежье» уточнена дата строительства. Трехчастная часовня, включающая молитвенное помещение, притвор-трапезную и сени с надстроенной колокольной, возведена одновременно во второй половине 1860-х годов. Для молитвенного помещения использован сруб амбара, относящийся к первой половине 1760-х годов. Наружная тесовая обшивка стен и крыльца храма, а также объединение молитвенного помещения и притвора в связи с отсутствием прямых подтверждений о времени их осуществления не выделены в самостоятельный строительный период. Выявлены типологические признаки часовни, архаизированные для времени ее строительства: разноширокий план с асимметрично уширенным предхрамьем, двойные угловые столбы яруса звона колокольной, крыльцо с верхним рундуком на консолях, повалы сруба колокольного столпа.

Ключевые слова: традиционное деревянное зодчество, часовни, хронологическая атрибуция, строительные периоды, архитектурно-археологическая шкала, дендрохронология, сосна обыкновенная

Часовня Кирика и Иулиты находится в деревне Воробьи, расположенной на западном берегу Большого Клименецкого острова в пределах охранной зоны музея-заповедника «Кижи». Стоящий в стороне от застройки на возвышенном месте храм является архитектурным акцентом в композиции деревни и входит в состав музейного сектора «Кижское ожерелье». В настоящее время часовня представляет собой трехчастную равновысокую клетскую постройку, состоящую из продольно-прямоугольного в плане молитвен-

ного помещения (кафоликона), асимметрично уширенного по отношению к последнему квадратного притвора и узких сеней с крыльцом на консольном основании. Кафоликон и притвор объединены широким проемом и фактически представляют собой единое помещение. Над сенями надстроена восьмигранная шатровая колокольня (рис. 1).

Во второй половине XX – начале XXI века часовня претерпела несколько реставраций, в результате которых наиболее существенно облик



Рис. 1. Часовня в деревне Воробьи.
Фото О. Семененко, 2013 год

храма изменили освобождение сруба и крыльца от дощатой обшивки, устройство кровли по курицам и потокам вместо кровли гвоздевой конструкции, лемехового покрытия главок – вместо покрытия из листового железа.

Предшествующие исследования часовни многочисленны. Первые известные нам материалы по часовне Кирика и Иулиты принадлежат финскому архитектору Ларсу Петтерссону, который занимался изучением храмовых построек Заонежья в начале 1940-х годов. Со слов местного жителя М. Дьякова Петтерссон записал историю создания храма, согласно которой часовня была построена в 1860-е годы на деньги петербургского «конфетного» фабриканта Агата Агатовича Воронцова, уроженца деревни Воробьи [8]. Тем не менее, на основании особенностей техники строительства и принимая во внимание надпись «1885» на крыльце, Петтерссон посчитал 1880-е годы более достоверным временем возведения часовни [9; 85, 337]. Кроме того, он установил, что для молитвенного помещения часовни использован сруб старого амбара. По данным Петтерссона, часовня имела один строительный период, то есть была возведена единовременно; сразу после возведения она была обшита [8], [9; 85].

В 1961–1963 годах обследование и разработку проекта реставрации часовни проводил архитектор А. В. Ополовников. По проекту, в частности, предполагалось восстановить западную стену молитвенного помещения и заменить широкий проем в ней дверью обычных размеров [6]. По-видимому, автор проекта допускал, что часовня могла иметь как минимум два строительных периода, в первый из которых она существовала в виде однокамерного храма либо с обособленным

молитвенным помещением в составе трехкамерной постройки.

Похожий взгляд на историю часовни высказали сотрудники музея-заповедника «Кижи» С. В. Куликов и С. В. Воробьева. Обращаясь к вопросу датировки памятника при составлении его паспорта в 1988 году, они выделили в истории часовни два строительных периода. По их данным, часовня была срублена в XVIII веке в виде однокамерной постройки, позднее, в XIX веке, к существующему храму был пристроен притвор с сенями и колокольной. Обшивка и сруба, и крыльца отнесена авторами паспорта к XIX веку, но не выделена в отдельный строительный период [5].

Настоящее исследование было предпринято в связи с упомянутыми выше разночтениями в строительной периодизации часовни в Воробьях. Кроме того, отнесение предшественниками окончательного формирования облика храма ко второй половине XIX века или, шире, к XIX столетию в целом представлялось противоречащим ряду его типологических признаков, которые выглядят архаизированными для часовен Заонежья указанного времени, например форма и размеры притвора, более подходящего на трапезную.

Для уточнения строительной истории храма использована методика комплексной хронологической атрибуции, успешно применявшаяся авторами при выявлении времени возведения и реконструкций ряда часовен Заонежского полуострова [1], [2], [3]. В соответствии с методикой на основании натурных, историко-архивных изысканий и типологического анализа постройки выявляется последовательность строительных периодов – этапов формирования храма, включая его возведение и исторические реконструкции. С помощью архитектурно-археологической шкалы для датирования культовых построек по типологическим признакам [4] определяются предварительные хронологические границы для каждого выявленного строительного периода храма. Далее производится отбор и дендрохронологический анализ образцов, относящихся к предполагаемым строительным периодам. В завершение гипотеза эволюции храма корректируется по результатам сопоставления архитектурных и дендрохронологических датировок.

В ходе настоящего исследования при натурном обследовании часовни Кирика и Иулиты были зафиксированы следы существовавшего ранее входа на южной стене кафоликона, что подтвердило сделанный ранее Л. Петтерссоном вывод о приспособлении амбара для молитвенного помещения часовни. Примеры такого приспособления отмечены и в других деревнях Заонежья [1], [9; 326, 328, 338].

За точку отсчета строительной истории часовни Кирика и Иулиты было принято время включения сруба амбара в качестве кафоликона в

Таблица 1

Датирующие архитектурно-конструктивные признаки часовни в д. Воробы

№ приз.	Наименование признаков, имеющих выявленные хронологические ареалы	XVII	XVIII		XIX		XX
		втор.	перв.	втор.	перв.	втор.	перв.
		пол.	пол.	пол.	пол.	пол.	пол.
4	Разноширокая клетская часовня						
5	Часовня с колокольной						
5.2	Двойные угловые столбы яруса звона с брусчатой обвязкой по наружным столбам						
7.1	Поперечно-прямоугольный притвор-трапезная						
7.3	Притвор и кафоликон объединены проемом						
8.4	Консольное крыльцо						
10.1	Стены кафоликона бесповальные						
10.6	Стены кафоликона отесаны изнутри без скругления углов						
11.1	Стены притвора-трапезной бесповальные						
11.6	Стены притвора-трапезной отесаны изнутри без скругления углов						
12.7	Стены колокольни, отесанные с двух сторон						
17.1	Потолки с настилом, перпендикулярным балкам						
17.4	Тесовые потолки «вразбежку» профилированные						
20.1.10	Дверь с прямоугольным сопряжением косяков (тип Ж)						
21.1.9	Окна с прямоугольным сопряжением косяков (тип Ж)						
23.2.2	Резные столбы с порезкой однонаправленными «кувшинчиками»						
24.3	Ограждение яруса звона из плоских дощатых криволинейных балясин						

структуру новой трехчастной постройки. Предварительно часовня рассматривалась как имеющая один строительный период.

Датирующие типологические признаки исследуемого здания представлены в табл. 1, составленной с использованием архитектурно-археологической шкалы для датировки часовен и церквей Карелии [4].

Рубленая «в лапу» с повалами колокольня (табл. 1, п. 5, 12.2, 12.6) и отесанные без скругления углов стены в интерьере часовни (табл. 1, п. 10.6, 11.6) позволяют датировать храм в достаточно широком диапазоне с середины XVIII века до четвертой четверти XIX века. Ряд признаков, таких как разноширокий план часовни (табл. 1, п. 4), поперечно-прямоугольный план притвора (табл. 1, п. 7.1), консольное крыльцо (табл. 1, п. 8.4), склоняют датировку к еще более раннему периоду – к первой половине XVIII века.

Наибольшей весомостью при определении итоговой датировки обладают типологические признаки с наименее протяженными по времени периодами бытования. Так, период вероятного распространения дверных колод с прямым сопряжением косяков между собой и с бревном порога относится к XIX веку (табл. 1, п. 20.1.10). Трехчастные оконные колоды, конструктивно аналогичные дверным, с наибольшей степенью вероятности были распространены во второй половине XIX века (табл. 1, п. 21.1.9), что позволяет сузить предполагаемое время строительства часовни до второй половины XIX века. Еще более определенно о второй половине XIX века свидетельствует двусторонняя отеска рубленых стен колокольни (табл. 1, п. 12.7) и объединение

кафоликона и притвора-трапезной в единое помещение с помощью широкого проема (табл. 1, п. 7.3).

Предполагаемому времени строительства часовни не противоречат поперечно-прямоугольная форма притвора-трапезной (табл. 1, п. 7.1), повалы основания колокольни (табл. 1, п. 12.6), порезка столбов яруса звона однонаправленными «кувшинчиками» (табл. 1, п. 23.2.2) и ограждение яруса звона из плоских дощатых балясин (табл. 1, п. 24.3), несмотря на то что наиболее вероятные хронологические границы этих признаков относятся к более раннему времени.

Таким образом, совокупность указанных датирующих признаков с учетом их весомости позволяет отнести время перестройки амбара в часовню ко второй половине XIX века.

Для дендрохронологического исследования отобрано 10 образцов (кernов) древесины из трех помещений часовни – кафоликона, притвора и сеней (рис. 2). Характеристика образцов приведена в табл. 2. Методика анализа подробно описана нами ранее [3]; датировка образцов древесины проводилась по локальной дендрохронологической шкале «Заонежье» (1550–2000 годы) [7]. Результаты анализа образцов представлены в табл. 3.

Дендрохронологическое исследование показало, что древесина памятника – сосна обыкновенная – достаточно однородна по качеству. Для строительства часовни она была заготовлена в 1866–1867 годах. Использованный для возведения молитвенного помещения амбар датируется по времени рубки древесины 1762–1763 годами. Также во внутренних конструкциях часовни

Таблица 2

Характеристика образцов древесины часовни в д. Воробьи

№ керна	Количество годовых слоев	Средняя ширина годового кольца, мм	Место отбора образцов	Примечание
Сени				
К 1	112	1,16	Южный фасад, 1-е снизу бревно (под крыльцом)	Возможная утрата нескольких годовичных слоев
К 2	92	0,77	Южный фасад, 2-е снизу бревно (под крыльцом)	Сохранились фрагменты луба
Притвор-трапезная				
К 3	167	0,96	Северный фасад, 6-е снизу бревно	Возможная утрата нескольких годовичных слоев
К 4	110	1,41	Северный фасад, 8-е снизу бревно	Возможная утрата нескольких годовичных слоев
Молитвенное помещение				
К 5	89	1,07	Северный фасад, 3-е снизу бревно	Возможная утрата нескольких годовичных слоев
К 6	47	2,30	Северный фасад, 7-е снизу бревно	Сохранились фрагменты луба
К 7	110	1,05	Южный фасад, 7-е снизу бревно	Возможная утрата нескольких годовичных слоев
К 8	129	0,98	Западная стена, интерьер, 1-е снизу бревно	Сохранились фрагменты луба, последний годичный слой не поврежден
К 9	135	0,75	Западный щипец кафоликона, 6-е сверху бревно	Сохранились фрагменты луба
К 10	75	1,27	Южная стена, интерьер, 1-е сверху бревно	Сохранились фрагменты луба

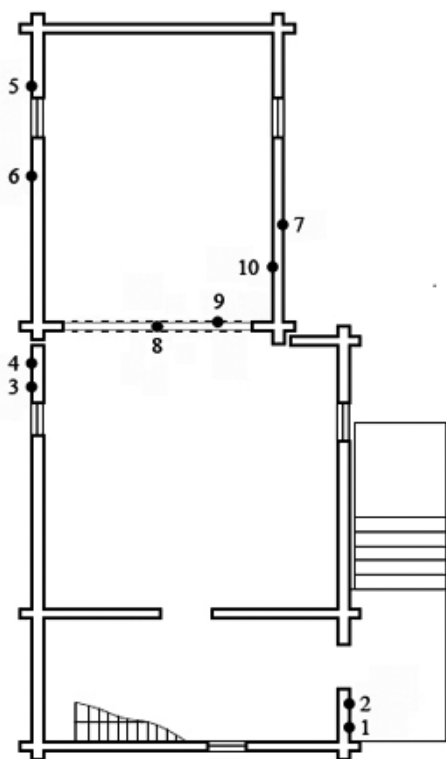


Рис. 2. План часовни с указанием мест отбора кернов древесины

(стена бывшего амбара между молитвенным помещением и притвором-трапезной на чердаке и в подклете) выявлена древесина, с достаточ-

Таблица 3

Результаты дендрохронологического анализа образцов древесины часовни в д. Воробьи

№ керна	Предполагаемый год заготовки древесины	Коэфф. корреляции с локальной шкалой «Заонежье»
Сени		
К 1	1861	0,51
К 2	1866	0,55
Притвор-трапезная		
К 3	1866	0,62
К 4	1862	0,79
Молитвенное помещение		
К 5	1762	0,80
К 6	1761	0,77
К 7	1762	0,67
К 8	1715	0,70
К 9	1717	0,71
К 10	1717	0,53

но высокой степенью вероятности датируемая 1717–1718 годами. По всей видимости, она была введена в сруб из конструкций более старых построек либо при возведении амбара, либо во время строительства часовни или ее реставрации и ремонтов.

После возведения часовни ее снаружи обшили тесом, причем за счет обшивки крыльца

было получено новое закрытое помещение. Документально определить время осуществления обшивки не представляется возможным. Но на основании натурного обследования с учетом данных Л. Петтерссона [8] можно с высокой степенью вероятности заключить, что обшивка была произведена сразу после завершения основных строительных работ. В пользу такого заключения свидетельствуют некоторая небрежность в подборе материала и технике рубки, а также бревенчатая «заплата» на южной стене сруба кафолика на месте двери бывшего амбара. Во время осмотра часовни Л. Петтерссон заметил, что стены трапезной и сеней срублены из «кусков бревен», вероятно, из-за отсутствия материала [8]. (К настоящему времени замены бревен, произведенные во время реставраций, отчасти сгладили это впечатление.) Наружная обшивка культовых построек достаточно широко распространилась в Карелии с начала XIX века [4; 225], поэтому возведение часовни Кирика и Иулиты с расчетом на обшивку в ходе строительства не противоречило архитектурной традиции своего времени.

О соответствии традиции можно говорить и применительно к объединению кафолика и притвора-трапезной часовни Кирика и Иулиты. В последней четверти XIX века в Карелии, и в частности в Заонежье, широко бытовала практика такого объединения путем выпиливания стены между кафоликом и притвором во время реконструкции часовен [4; 223]. Если в нашем случае объединение двух помещений было предпринято в ходе возведения часовни, то его можно рассматривать как интересный пример

воспроизведения в новом строительстве приема, выработанного при реконструкциях.

Таким образом, по совокупности имеющихся данных можно заключить, что часовня Кирика и Иулиты в Воробьях имела один строительный период. Перестройка амбара в часовню с колокольной была осуществлена во второй половине 1860-х годов (не ранее 1867 года). Амбар, в свою очередь, был срублен в первой половине 1760-х годов (не ранее 1763 года).

В результате проведенного исследования удалось уточнить называемые ранее датировки храма и его реконструкции. При этом часовня была несколько омоложена: вся история ее формирования проходила в XIX веке.

Дендрохронологический анализ древесины часовни подтвердил корректность разработанной ранее архитектурно-археологической шкалы в части использованных при предварительном датировании храма признаков. Уточненная датировка часовни позволила выявить ряд типологических признаков, архаизированных для 1860-х годов – времени ее строительства: разноширокий план с асимметрично уширенным предхрамьем, включающим большой притвор, сопоставимый с трапезными; двойные угловые столбы яруса звона колокольни, крыльцо с верхним рундуком в виде консольной площадки; повалы, хотя и слабо выраженные, сруба колокольного столпа.

Авторы выражают глубокую благодарность сотруднику музея-заповедника «Кижи» Т. Ю. Дудиновой за предоставленную информацию из Национального архива Финляндии и ее перевод.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гришина И. Е., Кистерная М. В., Козлов В. А. Комплексная хронологическая атрибуция часовни в заонежской деревне Подъельники // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: «Естественные и технические науки». 2014. № 8 (145). Т. 2. С. 86–90.
2. Козлов В. А., Орлов А. В., Кистерная М. В. Проблемы датировки некоторых часовен музея-заповедника «Кижи» // Рябининские чтения 2011: Материалы VI конференции по изучению и актуализации культурного наследия Русского Севера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 72–75.
3. Орлов А. В., Кистерная М. В., Козлов В. А. Комплексная хронологическая атрибуция часовни Спаса Нерукотворного из заонежской деревни Вигово // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер.: «Естественные и технические науки». 2010. № 8 (113). С. 64–70.
4. Орфинский В. П., Яскеляйнен А. Т. Хронологическая атрибуция сооружений народного деревянного культового зодчества // Орфинский В. П., Гришина И. Е. Типология деревянного культового зодчества Русского Севера. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2004. С. 220–230.
5. Часовня Кирика и Иулиты в деревне Воробы. Паспорт № 1101 от 2.07.1988 / Сост. С. В. Куликов, С. В. Воробьева. Архив Республиканского центра по государственной охране объектов культурного наследия Министерства культуры Республики Карелия.
6. Ополовников А. В. Часовня Кирика и Улиты в д. Воробы. Проект реставрации. 1961. Научный архив музея-заповедника «Кижи». Ф. 1. Оп. 1. № 218.
7. Kozlov V., Kisternaya M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in North Russia // Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology. 2004. № 209. P. 103–111.
8. Pettersson L. Äänisniemen kirkot, tsasounat ja luostarit: mittauksia, valokuvia, poimintoja. № 13: Vorobij. Suomen Kansallisarkisto.
9. Pettersson L. Äänisniemen kirkollinen puuarkkitehtuuri. Helsinki, 1950. 342 s.

Vakhrameeva T. I., Architectural and Restoration Project company “LAD”
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Grishina I. E., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Kisternaya M. V., Kizhi State Open-Air Museum of History, Architecture and Ethnography
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Kozlov V. A., Forest Resource Institute of Karelian Research Center of RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

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

CONSTRUCTION HISTORY OF ST. KYRIK AND IULITA CHAPEL IN ZAONEZHJE VILLAGE OF VOROB'I

The construction history of the St. Kyrik and Iulita chapel in Zaonezh'e village Vorob'i was studied by the method of complex chronological attribution. The time of the chapel's erection was determined by the full-scale survey integrating data on the separate parts of the building and by the use of architectural-structural indicators employed for the study of churches and chapels located on the territory of Karelia. The archival data of the 1940–1980s were taken into account. Dendrochronological analysis based on the local scale “Zaonezh'e”, developed by the authors, enabled correction of the data concerning erection of the church. Three parts of the structure – the chapel itself, an annex (a refectory), and a passage with a belfry were built at the same time, in the second half of the 1860s. The framework of the barn, dating back to the 1760 was used for the chapel's construction. The outer paneling of the chapel and the porch walls, the prayer room, and the refectory were not identified as structures with a separate construction period due to the lack of necessary evidence. Typological features of the chapel, which were archaic for the time of its erection, were revealed. They are: the chapel's outline with the variable width of its structural parts, a refectory of an asymmetric width, paired corner columns of the belfry, a porch with an upper stand placed on cantilevers, and an upward slant of the bell tower walls.

Key words: traditional wooden architecture, chapels, chronological attribution, construction stages, architectural-archeological scale, dendrochronology, Scots pine

REFERENCES

1. Grishina I. E., Kisternaya M. V., Kozlov V. A. Overall chronological attribution of the chapel in Zaonezhje village of Pod'yel'niki [Kompleksnaya khronologicheskaya atributsiya chasovni v zaonezhskoy derevne Pod'el'niki]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2014. № 8 (145). Vol. 2. P. 86–90.
2. Kozlov V. A., Orlov A. V., Kisternaya M. V. The problem of dating some of the chapels of the museum-reserve “Kizhi” [Problemy datirovki nekotorykh chasoven muzeya-zapovednika “Kizhi”]. *Ryabininskie chteniya 2011: Materialy VI konferentsii po izucheniyu i aktualizatsii kul'turnogo naslediya Russkogo Severa*. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ., 2011. P. 72–75.
3. Orlov A. V., Kisternaya M. V., Kozlov V. A. Overall chronological attribution of the Chapel of the Vernicle in Zaonezhje village of Vigovo [Kompleksnaya khronologicheskaya atributsiya chasovni Spasa Nerukotvornogo iz zaonezhskoy derevni Vigovo]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2010. № 8 (113). P. 64–70.
4. Orfinskiy V. P., Yaskelyaynen A. T. Chronological attribution of the folk wooden cult architecture [Khronologicheskaya atributsiya sooruzheniy narodnogo derevyannogo kul'tovogo zodchestva]. *Orfinskiy V. P., Grishina I. E. Tipologiya derevyannogo kul'tovogo zodchestva Russkogo Severa*. Petrozavodsk, Izd-vo PetrGU Publ., 2004. P. 220–230.
5. Chasovnya Kirika i Iulity v derevne Vorob'i. *Arkhiv Respublikanskogo tsentra po gosudarstvennoy okhrane ob'ektov kul'turnogo naslediya Ministerstva kul'tury Respubliki Kareliy. Pasport № 1101 ot 2.07.1988 / Sost. S. V. Kulikov, S. V. Vorob'eva* [The Sts. Kyrik and Iulita chapel in the village of Vorobjy Archives of the Republican Centre for the State Protection of the Cultural Heritage, Ministry of Culture, Republic of Karelia. Certificate № 1101 of 2.07.1988 / By S. V. Kulikov, S. V. Vorobyeva].
6. Opolovnikov A. V. Chasovnya Kirika i Iulity v derevne Vorob'i. *Proekt restavratsii. 1961. Nauchnyy arkhiv muzeya-zapovednika “Kizhi”. F. I. Op. I. № 218* [Kyrik and Iulita chapel in the village of Vorobjy. Restoration project. 1961. Scientific archive of the museum-reserve “Kizhi”. Fund I. List I. № 218].
7. Kozlov V., Kisternaya M. Architectural wooden monuments as a source of information for past environmental changes in North Russia // *Paleogeography, paleoclimatology, paleoecology*. 2004. № 209. P. 103–111.
8. Pettersson L. Äänisniemen kirkot, tsasounat ja luostarit: mittauksia, valokuvia, poimintoja. № 13: Vorobjy. Suomen Kansallisarkisto.
9. Pettersson L. Äänisniemen kirkollinen puuarkkitehtuuri. Helsinki, 1950. 342 s.

Поступила в редакцию 01.06.2015

ИГОРЬ ГЕННАДЬЕВИЧ СКОБЦОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных и технологических машин и оборудования Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)

iskobtsov@mail.ru

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КАТАСТРОФЫ СБОРКИ*

Работа посвящена решению задачи оптимального проектирования устройств защиты операторов лесозаготовительных машин с применением методов теории катастроф. В первой части статьи представлено введение в теорию катастроф, приведена катастрофа сборки, при этом переменные управления рассмотрены как случайные величины, распределенные по нормальному закону. Вторая часть статьи посвящена постановке задачи оптимального проектирования, включающей выбор целевой функции и параметров проектирования, определение системных ограничений. Целевая функция определена в виде средних суммарных ожидаемых затрат, включающих затраты на производство конструкции и стоимость ее отказа с учетом вероятности катастрофы сборки. В заключительной части статьи приведен алгоритм поиска оптимального решения, в основу которого положен метод случайного поиска с уменьшением интервала при учете областных и функциональных ограничений. Предложенный подход к решению оптимизационной задачи может быть применен при выборе рациональных параметров устройства защиты оператора лесозаготовительной машины, что позволит повысить безопасность труда и снизить затраты при изготовлении и эксплуатации конструкции.

Ключевые слова: оптимальное проектирование, катастрофа сборки, случайная величина, вероятность безотказной работы, устройство защиты при опрокидывании

ВВЕДЕНИЕ

Процесс проектирования лежит в основе всей инженерной деятельности: с одной стороны, необходимо создавать новые, более эффективные и менее дорогостоящие машины; с другой – разрабатывать методы повышения качества их функционирования и конкурентоспособности.

Технологические процессы лесосечных работ являются потенциально опасными и требуют специальных защитных средств. Так, стандартом ИСО 8082, регламентирующим требования к безопасности операторов лесных машин, предписывается оснащать кабины устройствами защиты при опрокидывании (ROPS – Roll-over protective structures) для снижения риска травмирования оператора в случае возникновения аварийной ситуации.

Теория катастроф, интенсивно развивающаяся со второй половины XX века, основоположниками которой являются французский математик Р. Том [6] и российский математик В. И. Арнольд [1], дает возможность описания качественных (скачкообразных) изменений моделируемой системы при плавных изменениях параметров управления [10]. Одной из семи элементарных катастроф, по Р. Тома [6], является катастрофа сборки, потенциальная функция которой определяется

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

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

Многообразие M катастрофы задается уравнением

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

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

$$D = 4a^3 + 27b^2.$$

Катастрофа происходит, когда дискриминант D меняет знак с отрицательного на положительный [3], [4].

В статье А. В. Питухина [3] для оценки вероятности катастрофы сборки предложен метод статистической линеаризации для варианта, при котором переменные управления являются случайными величинами. В данном случае оценки математического ожидания и дисперсии дискриминанта D определяются

$$\bar{D} = 4\bar{a}^3 + 27\bar{b}^2;$$

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

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

Оценка вероятности безотказной работы применительно к устройству защиты оператора при

опрокидывании лесозаготовительной машины была проделана в работе [4].

Таким образом, на следующем этапе возникает задача оптимизации параметров ROPS [5] путем поиска оптимальных значений переменных управления катастрофы сборки, что, во-первых, позволит обеспечить соответствие значений характеристик безопасности требованиям действующих стандартов при проектировании, во-вторых, снизить затраты при изготовлении и эксплуатации конструкции.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ КАТАСТРОФЫ СБОРКИ

Постановка задачи оптимального проектирования включает: выбор целевой функции, определение системных ограничений, выбор оптимизируемых параметров. Как правило, невозможно обеспечить максимальную надежность и минимальную стоимость изготовления машины или отдельных ее частей. Следовательно, целесообразно выбирать такой показатель эффективности, который бы учитывал как надежность в период эксплуатации, так и стоимость изготовления [7].

Монокритериальная задача условной оптимизации может быть сформулирована в виде: минимизировать суммарные затраты, включающие стоимость производства металлоконструкции устройства защиты и потери от простоя лесозаготовительной машины в случае отказа ROPS [8], [9]

$$C_T(X^*) = \min_{X \in \Omega} C_T(X)$$

при условиях

$X_{\min} \leq X \leq X_{\max}$ – областные ограничения;

$F(X) \leq 0$ – функциональные ограничения.

Здесь C_T – общие (суммарные) ожидаемые затраты;

$X = X_{<n>}^T = (x_1, \dots, x_n)$ – вектор параметров проектирования;

X^* – оптимальное значение вектора параметров проектирования, доставляющее минимальное значение целевой функции;

Ω – область допустимых значений вектора X .

В качестве параметров проектирования могут выступать размеры конструкции, механические свойства материалов, допуски на изготовление, величина дефектов и т. д.

Среднее значение суммарных ожидаемых затрат в общем виде может быть выражено [3]

$$C_T(X) = C_{IT}(X) + \sum_{i=1}^m Q_i \cdot C_i,$$

где $C_{IT}(X)$ – затраты на изготовление;

C_i, Q_i – соответственно стоимость и вероятность отказа i -го вида;

m – общее число возможных видов отказов.

Переменные управления катастрофы сборки зависят от параметров проектирования

$$a = f_a(X); \quad b = f_b(X).$$

В свою очередь, вероятность безотказной работы конструкции также может быть выражена через переменные управления катастрофы сборки

$$R(a, b) = 1 - Q(a, b),$$

где $Q(a, b)$ – вероятность отказа (вероятность катастрофы сборки).

Таким образом, переменные управления (a, b) могут выступать в качестве оптимизируемых параметров. В качестве областных ограничений принимаются ограничения на размеры деталей; в качестве функциональных – ограничения на площадь поперечного сечения профиля, используемого при изготовлении ROPS.

При допущении о нормальном распределении параметров управления вероятность катастрофы сборки выразится [2]

$$Q = \frac{1}{2} + \Phi(t),$$

где $t = \frac{\bar{D}}{\sigma_D} = \frac{4\bar{a}^3 + 27\bar{b}^2}{\sqrt{144\bar{a}^4\sigma_a^2 + 2916\bar{b}^2\sigma_b^2}}$ – значение

переменной в функции Лапласа.

Тогда вероятность катастрофы сборки запишется

$$Q(a, b) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{4\bar{a}^3 + 27\bar{b}^2}{\sqrt{144\bar{a}^4\sigma_a^2 + 2916\bar{b}^2\sigma_b^2}}\right).$$

В свою очередь, вероятность безотказной работы

$$R(a, b) = 1 - Q(a, b) = \frac{1}{2} - \Phi\left(\frac{4\bar{a}^3 + 27\bar{b}^2}{\sqrt{144\bar{a}^4\sigma_a^2 + 2916\bar{b}^2\sigma_b^2}}\right).$$

ПОСТРОЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ

В случае если преобладающим видом отказа является разрушение конструкции (когда имеет место катастрофа сборки), суммарные ожидаемые затраты, выступающие в роли целевой функции, могут быть выражены как сумма затрат на производство конструкции устройства защиты и стоимости ее отказа с учетом вероятности катастрофы сборки

$$C_T(a, b) = C_{IT} + Q(a, b) \cdot C_{2T}.$$

Здесь C_{IT} – затраты на производство устройства защиты;

C_{2T} – стоимость отказа.

Затраты на производство ROPS определяются

$$C_{IT} = C_{I1} + C_{I2},$$

где C_{I1} – стоимость материала;

C_{I2} – стоимость изготовления.

Как первая, так и вторая составляющая затрат на производство могут быть выражены через массу металлоконструкции. Как правило, в прайс-

листах, размещенных на сайтах заводов-производителей металлопроката, цены на изготовление металлоконструкций и цены на металлопрокат указаны в рублях за 1 тонну. Таким образом, суммарные затраты на производство можно определить, зная массу ROPS m_{ROPS} (кг), а также цену 1 т металлопроката $C_{1\text{ т м/н}}$ и цену изготовления 1 т металлоконструкции ROPS $C_{1\text{ т узг}}$

$$C_{1T} = (C_{1\text{ т м/н}} + C_{1\text{ т узг}}) \cdot m_{ROPS} / 1000.$$

Стоимость отказа C_{2T} может быть выражена как сумма потерь от простоя лесозаготовительной машины в течение k машиносмен, затрат на перевозку лесозаготовительной машины в мастерскую C_{2T2} , затрат на монтаж (демонтаж) кабины C_{2T3} и затрат на производство нового устройства защиты оператора C_{2T4}

$$C_{2T} = k \cdot C_{2T1} + C_{2T2} + C_{2T3} + C_{2T4},$$

где C_{2T1} – потери от простоя лесозаготовительной машины в течение одной машино-смены.

Таким образом, необходимо найти оптимальное значение вектора параметров проектирования X^* , которому при заданных ограничениях соответствует наименьшее значение суммарных ожидаемых затрат.

АЛГОРИТМ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Алгоритм метода случайного поиска с уменьшением интервала

1) Методом статистических испытаний моделируется случайное значение вектора параметров проектирования X

$$X_I^1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$$

в соответствии с заданными границами каждого из параметров

$$x_i^1 = x_{i\text{min}}^I + r_i \cdot (x_{i\text{max}}^I - x_{i\text{min}}^I),$$

где r_i – случайные числа, распределенные равномерно на интервале (0,1);

$x_{i\text{min}}^I, x_{i\text{max}}^I$ – наименьшие и наибольшие значения i -го параметра проектирования в первой серии случайных испытаний.

2) Полученная точка $X_I^1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$ проверяется на принадлежность области допустимых значений вектора X по функциональным ограничениям, после чего определяются переменные управления катастрофы сборки

$$a_i^1 = f_a(X_I^1), \quad b_i^1 = f_b(X_I^1).$$

3) Оценивается вероятность безотказной работы и вероятность катастрофы сборки

$$R_I^1 = R(a_i^1, b_i^1), \quad Q_I^1 = 1 - R_I^1.$$

4) Вычисляется значение целевой функции в данной точке

$$C_T^1 = C_T(a_i^1, b_i^1).$$

Точка запоминается, если она дает наилучшее значение (наименьшее значение целевой функции).

5) Вычисления по пунктам 1–4 проводятся в соответствии с заданным числом случайных испытаний N .

$$X_I^2 \rightarrow a_i^2, b_i^2 \rightarrow R_I^2 \rightarrow Q_I^2 \rightarrow C_T^2;$$

.....

$$X_I^j \rightarrow a_i^j, b_i^j \rightarrow R_I^j \rightarrow Q_I^j \rightarrow C_T^j;$$

.....

$$X_I^N \rightarrow a_i^N, b_i^N \rightarrow R_I^N \rightarrow Q_I^N \rightarrow C_T^N.$$

Число случайных испытаний N можно определить, руководствуясь рекомендациями работы [3], в которой показано, что для получения 90%-го доверительного интервала величиной $\rho_i \cdot (x_{i\text{max}} - x_{i\text{min}})$ для параметра x_i в пределах данной серии требуется число испытаний

$$N = 2,3 \cdot \prod_{i=1}^n \rho_i^{-1},$$

где ρ_i – величина, определяющая сужение интервала, $0 < \rho_i < 1$.

6) Точка X_I^* , дающая наименьшее значение целевой функции $C_T^{I*} = C_T(X_I^*)$, запоминается и используется в качестве начальной точки следующей серии, при этом границы нового интервала сужаются

$$x_{i\text{min}}^{II} = \max\{x_{i\text{min}}^I, x_i^{I*} - \rho_i \cdot (x_{i\text{max}}^I - x_{i\text{min}}^I)\};$$

$$x_{i\text{max}}^{II} = \min\{x_{i\text{max}}^I, x_i^{I*} + \rho_i \cdot (x_{i\text{max}}^I - x_{i\text{min}}^I)\}.$$

7) Вычисления повторяются, начиная с пункта 1. Производится k серий опытов. Определяются

$$X_{II}^* \rightarrow C_T^{II*} = C_T(X_{II}^*);$$

.....

$$X_k^* \rightarrow C_T^{k*} = C_T(X_k^*).$$

8) Вычисления заканчиваются по достижении заданной точности Δ определения значения целевой функции

$$|C_T(X_k^*) - C_T(X_{k-1}^*)| \leq \Delta.$$

ВЫВОДЫ

Рассмотрена постановка задачи оптимального проектирования элементов конструкций лесозаготовительных машин с позиций теории катастроф применительно к устройству защиты оператора при опрокидывании трелевочного трактора. В качестве целевой функции выступают суммарные ожидаемые затраты. Представлен алгоритм поиска оптимального решения на основе метода случайного поиска с уменьшением интервала при учете областных и функциональных ограничений.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд В. И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. 128 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2003. 479 с.
3. Питухин А. В. Методы теории катастроф при проектировании элементов конструкций машин и оборудования лесного комплекса // Известия вузов «Лесной журнал». 2007. № 2. С. 58–65.
4. Питухин А. В., Скобцов И. Г. Оценка надежности системы ROPS лесозаготовительных машин с применением катастрофы сборки // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 8 (145). С. 68–72.
5. Скобцов И. Г. Пути повышения эффективности устройств защиты оператора при опрокидывании лесопромышленного трактора // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: ivdon.ru/gu/magazine/archive/n2y2015/2889.
6. Том Р. Структурная устойчивость и морфогенез. М.: Логос, 2002. 288 с.
7. Pitukhin A. V. Fracture Mechanics and Optimal Design // Int. Journal for Numerical Methods in Engineering. 1992. Vol. 34. № 3. P. 933–940.
8. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. The Statement of Optimal Design Problem with the Cusp Catastrophe Theory Application // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 709. P. 530–533.
9. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. The Statistical Catastrophe Theory and Optimal Probability Based Design // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 741. P. 283–286.
10. Poston T., Stewart I. N. Catastrophe Theory and its Applications. New York: Dover Publications, 1996. 491 p.

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

OPTIMAL DESIGN OF FOREST MACHINE ELEMENTS BASED ON THE THEORY OF STATISTICAL CATASTROPHE ASSEMBLY

A solution of the optimal design problem of the roll-over protective structure (ROPS) for logging machine operators in terms of the catastrophe theory is provided. In the first part of the paper, a brief description of the catastrophe theory is presented; the cusp catastrophe is considered; control parameters are viewed as Gaussian stochastic quantities. The statement of the optimal design problem is given in the second part of the paper. It includes choices of the objective function and independent design variables, establishment of the system limits. The objective function is determined as an average total cost, which includes both the initial cost and the cost of failure according to the cusp catastrophe probability. The algorithm of the random search method with an interval reduction and functional constraints is provided in the last part of the paper. A suggested solution of the optimal design problem can be applied to choose rational ROPS parameters, which increase safety and reduce production and exploitation expenses.

Key words: optimal design, cusp catastrophe, stochastic quantity, reliability function, roll-over protective structure

REFERENCES

1. Arnol'd V. I. *Teoriya katastrof* [Catastrophe Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 128 p.
2. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2003. 479 p.
3. Pitukhin A. V. Methods of Catastrophe Theory when Designing Elements of Machines and Equipment of Forest Industry [Metody teorii katastrof pri proektirovanii elementov konstruksiy mashin i oborudovaniya lesnogo kompleksa]. *Izvestiya vuzov "Lesnoy zhurnal"*. 2007. № 2. P. 58–65.
4. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. Application of the Cusp Catastrophe for Estimation of Forest Machine ROPS Reliability [Otsenka nadezhnosti sistemy ROPS lesozagotovitel'nykh mashin s primeneniem katastrofy sborki]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2014. № 8 (145). P. 68–72.
5. Skobtsov I. G. Ways of increasing efficiency of the forest machine roll-over protective structure [Puti povysheniya effektivnosti ustroystv zashchity operatora pri oprokidyvanii lesopromyshlennogo traktora]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2015. № 2. Available at: ivdon.ru/gu/magazine/archive/n2y2015/2889
6. Tom R. *Strukturnaya ustoychivost' i morfogenez* [Structural stability and morphogenesis]. Moscow, Logos Publ., 2002. 288 p.
7. Pitukhin A. V. Fracture Mechanics and Optimal Design // Int. Journal for Numerical Methods in Engineering. 1992. Vol. 34. № 3. P. 933–940.
8. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. The Statement of Optimal Design Problem with the Cusp Catastrophe Theory Application // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 709. P. 530–533.
9. Pitukhin A. V., Skobtsov I. G. The Statistical Catastrophe Theory and Optimal Probability Based Design // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 741. P. 283–286.
10. Poston T., Stewart I. N. Catastrophe Theory and its Applications. New York: Dover Publications, 1996. 491 p.

Поступила в редакцию 20.07.2015

НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА КОВАЛЕВА
преподаватель кафедры промышленного транспорта Института лесных, инженерных и строительных наук, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
natalya.kowalyowa2010@yandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ ПО КРИТЕРИЮ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Описана технология строительства лесных дорог «из канав». Предложена методика оценки прочности слоев возводимого дорожного полотна на стадии проектирования. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих адекватность расчетного метода оценки прочности дорожной конструкции. Даны рекомендации по обеспечению требуемой прочности дорожного полотна на стадии строительства.

Ключевые слова: лесная дорога, почвогрунт, модуль деформации, геоматериал

Общая протяженность автомобильных дорог в лесном фонде РФ составляет 1618 тыс. км, из них 403 тыс. км приходится на лесовозные дороги. Плотность сети лесных дорог в Российской Федерации составляет 1,5 км на 1 тыс. га лесных земель (см.: Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г.).

Согласно лесному плану Республики Карелия, густота дорожной сети в республике, используемой для перевозки лесных грузов, составляет 1,84 км на 1 тыс. га. В свою очередь, для оптимального охвата лесных территорий всеми лесохозяйственными мероприятиями плотность дорог должна находиться в пределах от 5 до 10 км на 1 тыс. га (см.: Лесной план Республики Карелия. Пояснительная записка. Т. 1).

Основу лесотранспортной сети наряду с магистральями составляют лесовозные ветки, срок службы которых ограничен и составляет зачастую не более 10 лет. В этой связи затраты на проектирование и строительство таких дорог должны быть минимальными. В то же время за весь период эксплуатации лесные дороги должны обеспечивать сохранение необходимых характеристик конструкции, в частности несущей способности. Вследствие этого возникает необходимость поиска новых технологических решений при проектировании и строительстве дорожного полотна, направленных на повышение прочностных свойств конструкции с сопутствующим снижением затрат материально-технических ресурсов.

По мнению ряда зарубежных и отечественных экспертов, одним из наиболее дешевых и перспективных методов строительства является технология возведения земляного полотна из боковых и придорожных канав [2], [8]. Основным строительным материалом в этом случае является местный почвогрунт, перемещаемый экскава-

тором в тело земляного полотна из боковых канав, выполняющих роль притрассовых резервов.

В связи с использованием местного почвогрунта отсутствует необходимость в устройстве карьеров с дальнейшей их рекультивацией, что является положительным решением в экологическом аспекте строительства дороги. Также отличительной чертой технологии «из канав» является возможность строительства лесной дороги с применением лишь одной дорожно-строительной машины, в качестве которой традиционно используется одноковшовый экскаватор, работающий методом «обратной лопаты» как с неповоротным ковшом, так и с поворотным планировочным ковшом.

Реализация данной технологии позволяет получить дорожное полотно с различными по глубине характеристиками прочности. Основной такой характеристикой является модуль общей деформации, определяющий сжимаемость конструкции. В общем случае для нижнего (базового) слоя, первоначально формируемого экскаватором, результирующий модуль деформации после завершения работ будет определяться как функция следующих составляющих:

$$F(t) = f(F_1 + \Delta F_1; F_2 + \Delta F_2), \quad (1)$$

где F – модуль общей деформации конструкции лесовозной автомобильной дороги, МПа; t – время сжимаемости почвогрунта, с; F_1 – модуль деформации почвогрунта, уложенного в нижний (базовый) слой основания дорожного полотна, МПа; ΔF_1 – прирост модуля деформации почвогрунта, обусловленный воздействием экскаватора на слой основания и последующей консолидацией, МПа; F_2 – модуль деформации почвогрунта, уложенного в слой дорожного покрытия, МПа; ΔF_2 – прирост модуля деформации почвогрунта, обусловленный воздействием экскаватора на слой покрытия и последующей консолидацией, МПа.

Для верхнего слоя первым компонентом формулы будет являться модуль деформации последнего уложенного в дорожное полотно слоя почвогрунта с учетом воздействия на него ковша. Дальнейший прирост модуля деформации будет обеспечен заездом экскаватора на данный слой, колебаниями машины и естественной консолидацией.

Применение данной технологии под воздействием различных факторов требует введения корректировок и адаптационных мероприятий с целью достижения требуемых прочностных характеристик объекта строительства. Влияние на конструкцию дороги могут оказывать состояние почвогрунтов в различные периоды (летний, зимний, межсезонный), его тип, физические, деформационные и прочностные свойства, а также климатические условия района строительства. Эти характеристики описаны в работах [3], [4].

Определение модуля деформации почвогрунта по зависимости (1) на поверхности дорожного полотна, а также на заданной глубине конструкции позволяет оценить несущую способность строящейся дороги на стадии ее проектирования и сравнить эту величину с нормативными значениями.

В случае несоответствия характеристик, влияющих на прочность дороги, нормативным показателям возникает необходимость введения в конструкцию дорожного полотна армирующих слоев с целью достижения требуемого модуля деформации как отдельных почвогрунтовых слоев, так и всей конструкции в целом.

Повысить прочностные свойства дороги и снизить вероятность сдвига конструкции под действием касательных напряжений, ведущих к разрушению, возможно путем применения современных геосинтетических материалов – георешеток и геотекстиля [1], [6], [7], [8]. Использование данных материалов может происходить в различных комбинациях: укладка геосетки под почвогрунтовым дорожным покрытием, укладка того же материала на подготовленное почвогрунтовое основание с последующей отсыпкой рабочего слоя почвогрунта и т. д.

Армирование дорожной одежды различного рода геоматериалами позволяет не только усилить конструкцию дороги, но и приводит к существенной экономии дорожно-строительного материала, уменьшению толщины возводимых слоев, что способствует снижению объемов зем-

ляных работ, а также препятствует проникновению влаги в тело земляного полотна и смешиванию слоев материалов.

Таким образом, использование методики, основанной на применении зависимости (1) с введением в нее конкретных значений модулей деформации почвогрунта и их прироста, делает возможным на стадии планирования запроектировать дорогу с требуемыми свойствами.

С целью оценки адекватности получаемой расчетной величины, а именно расчетных модулей деформации почвогрунта и их прироста и, соответственно, модуля деформации $F(t)$, нами был проведен полевой эксперимент.

На специально возведенном экспериментальном участке лесовозной ветки, расположенной на территории учебного и научно-исследовательского комплекса «Лесная дорога» в Инновационно-технологическом кампусе ПетрГУ, по описанной выше технологии «из канав» [2] был произведен забор образцов почвогрунта на различных участках дороги с поверхности дорожной конструкции и на заданной глубине с их дальнейшим исследованием в лаборатории.

Отбор почвогрунтовых образцов происходил на четырех участках лесовозной ветки, для каждого из которых в соответствии с ГОСТ 25100-2012 «Грунты. Классификация» были определены физические характеристики, состояние и тип почвогрунта (1-й участок – песок; 2-й участок – супесь в твердом состоянии; 3-й участок – твердый суглинок; 4-й участок – суглинок текучий). Необходимое число измерений было определено согласно известной методике [5].

Все виды работ, связанные с изготовлением, отбором, упаковкой, транспортированием, хранением и подготовкой к непосредственным испытаниям образцов почвогрунтов, были проведены с учетом требований ГОСТ 30416-2012 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения», а также ГОСТ 12071-2000 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов».

Результаты определения физических характеристик почвогрунта приведены в табл. 1.

Испытания почвогрунта на деформируемость проводились методом компрессионного сжатия по ГОСТ 12248-2010 в одометрах (компрессионных приборах), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой. Значения фактических

Таблица 1

Результаты определения физических характеристик почвогрунта

Физическая характеристика	Единица измерения	Значение			
		1-й участок	2-й участок	3-й участок	4-й участок
Плотность, ρ	г/см ³	1,79	1,90	1,94	1,96
Влажность, W	%	12,41	12,06	19,21	16,90
Число пластичности, I_p	%	–	4,19	7,82	8,15
Показатель текучести, I_L	д. е.	–	–0,53	–0,20	1,16
Плотность скелета, ρ_d	г/см ³	1,59	1,70	1,63	1,69
Коэффициент пористости, e	д. е.	0,67	0,58	0,66	0,60
Пористость, n	д. е.	0,41	0,38	0,40	0,38
Тип грунта	–	песок	супесь	суглинок	суглинок

модулей деформации грунта для каждого из участков приведены в табл. 2.

Таблица 2
Значения фактических модулей деформации F^{Φ} почвогрунтов на опытных участках лесовозной ветки

№ участка дороги и тип почвогрунта	Расчетный модуль деформации $F^{\Phi}_{\text{расч}}$, МПа	Модуль деформации, полученный экспериментальным путем $F^{\Phi}_{\text{экс}}$, МПа
1-й участок; песок	25,48	23,95
2-й участок; супесь	24,46	22,01
3-й участок; суглинок	22,42	20,59
4-й участок; суглинок	22,42	21,40

Как видно из табл. 2, расхождение значений расчетного фактического модуля деформации

и того же параметра, определенного экспериментальным путем, не превышает 3–16 %, что является весомым аргументом для рекомендации по применению методики оценки прочности конструкции дорожного полотна, основанной на расчетной зависимости (1), на стадии проектирования.

Исследования показали, что посредством сочетания применения технологии возведения «из канав», учета всех влияющих факторов на стадию строительства объекта и мер по их оптимизации, а также используя методику, основанную на зависимости (1), можно определить фактический модуль деформации почвогрунта и при необходимости корректировать его величину на этапе проектирования дороги, добиваясь требуемых нормативных показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Ю. Ю., Катаров В. К. Лесные дороги. Йоэнсуу, 2009. 70 с.
2. Катаров В. К., Ковалева Н. В., Кочанов А. Н., Марков В. И., Петров А. Н., Ратькова Е. И., Рожин Д. В., Степанов А. В., Соколов А. П., Сюнев В. С. Проектирование, строительство, содержание и ремонт лесных дорог: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2014. 92 с.
3. Ковалева Н. В., Катаров В. К., Ратькова Е. И. Исследование влияния циклов «замораживание – оттаивание» на характеристики лесных почво-грунтов, используемых при строительстве лесных дорог // I Европейский лесопромышленный форум молодежи (15–17 мая 2014 г.): Материалы междунар. научно-техн. конф. Воронеж: ВГЛТА, 2014. С. 176–180.
4. Ратькова Е. И., Катаров В. К., Ковалева Н. В. Уплотнение оснований лесных дорог на глинистых грунтах в межсезонные периоды // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2015. № 4 (149). С. 95–97.
5. Редькин А. К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок: Учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 256 с.
6. Karjalainen T., Leinonen T., Gerasimov Y. Intensification of forest management and improvement of wood harvesting in Northwest Russia – Final report of the research project. Metlan työraportteja / Husso M. & Karvinen S. (eds.). Working // Papers of the Finnish Forest Research Institute 110. Joensuu: Metla, 2009. 151 p.
7. Metsätalastollinen vuosikirja. 2008.
8. Ryan T., Phillips H., Ramsay J. and Dempsey J. Forest Road Manual. Guidelines for the design, construction and management of forest roads / Publ. by COFORD; National Council for Forest Research and Development, Belfield, Dublin 4, Ireland, 2004. 156 p.

Kovaleva N. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

FAILURE CRITERION SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL DECISIONS IN FOREST ROAD CONSTRUCTION

A method of forest road construction “from road furrows” is described in the article. A technique estimating the strength of the roadbed layers at the project stage of forest road construction is proposed. Experimental results substantiating the use of the recommended validation model aimed at the assessment of the roadbed layers’ strength are provided. Recommendations assisting in the provision of the necessary strength of the roadbed layers are presented.

Key words: forest road, soil and subsoil, stress-strain modulus, geo materials

REFERENCES

1. Gerasimov Yu. Yu., Katarov V. K. *Lesnye dorogi* [Forest road]. Joensuu, 2009. 70 p.
2. Katarov V. K., Kovaleva N. V., Kochanov A. N., Markov V. I., Petrov A. N., Rat'kova E. I., Rozhin D. V., Stepanov A. V., Sokolov A. P., Syuney V. S. *Proektirovaniye, stroitel'stvo, soderzhanie i remont lesnykh dorog* [Design, construction, maintenance and reconditioning of forest roads]. Petrozavodsk, PetrSU Publ., 2014. 92 p.
3. Kovaleva N. V., Katarov V. K., Rat'kova E. I. Analysis of “freezing and defrosting” effect on wood soils’ characterization data used in forest road construction [Issledovanie vliyaniya tsiklov “zamorazhivaniye – ottaivaniye” na kharakteristiki lesnykh pochvo-gruntov, ispol'zuemykh pri stroitel'stve lesnykh dorog]. *I Evropeyskiy lesopromyshlennyy forum molodezhi (15–17 maya 2014 g.): Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of international scientific and technical conference “First European forest forum of youth”]. Voronezh, 2014. P. 176–180.
4. Rat'kova E. I., Katarov V. K., Kovaleva N. V. Groundwork base consolidation of forest roads built on clay soils during interseasonal periods [Uplotneniye osnovaniy lesnykh dorog na glinistykh gruntakh v mezhsezonnnyye periody]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. “Estestvennyye i tekhnicheskie nauki”* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2015. № 4 (149). P. 95–97.
5. Red'kin A. K. *Osnovy modelirovaniya i optimizatsii protsessov lesozagotovok: Uchebnik dlya vuzov* [Basics of the modeling process and optimization in forest harvesting]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 256 p.
6. Karjalainen T., Leinonen T., Gerasimov Y. Intensification of forest management and improvement of wood harvesting in Northwest Russia – Final report of the research project. Metlan työraportteja / Husso M. & Karvinen S. (eds.). Working // Papers of the Finnish Forest Research Institute 110. Joensuu: Metla, 2009. 151 p.
7. Metsätalastollinen vuosikirja. 2008.
8. Ryan T., Phillips H., Ramsay J. and Dempsey J. Forest Road Manual. Guidelines for the design, construction and management of forest roads / Publ. by COFORD; National Council for Forest Research and Development, Belfield, Dublin 4, Ireland, 2004. 156 p.

Поступила в редакцию 07.09.2015

ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ ВАПИРОВ

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

ДМИТРИЙ ОЛЕГОВИЧ ЗАЙЦЕВ

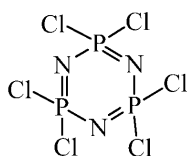
кандидат химических наук, доцент кафедры общей химии эколого-биологического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
dzaicev78@mail.ru

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕАКЦИИ ГЕКСАХЛОРИЦИКЛОТРИФОСФАТРИЕНА С N-ОКСИДОМ ПИРИДИНА В СМЕСИ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ПРИСУТСТВИИ ВОДЫ*

В реакции гексахлорциклотрифосфазатриена (фосфазена) с N-оксидом пиридина в органическом растворителе образуется «ониевая» соль. «Ониевая» соль является промежуточным продуктом в реакции гидролиза фосфазена. Реакция между фосфазеном и N-оксидом пиридина характеризуется первым порядком по фосфазену и N-оксиду. Вода оказывает каталитическое действие на данную реакцию. Каталитическая роль воды заключается в сольватации уходящей группы, что способствует ее более легкому отщеплению.

Ключевые слова: фосфазен, химическая кинетика, механизмы реакции

Циклический тример фосфонитрилхлорида – гексахлорциклотрифосфазатриен (фосфазен) (I) – является наиболее интересным, изучаемым и представляющим наибольшую практическую значимость соединением в ряду циклических фосфонитрилгалогенидов.



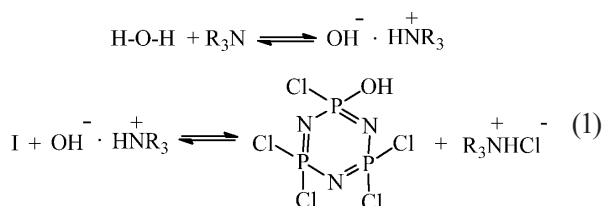
I, фосфазен

Это соединение может быть достаточно легко синтезировано, к тому же на его основе получен целый ряд производных, которые применяются в различных областях промышленности, физической электронике, медицине и т. д. [1], [3].

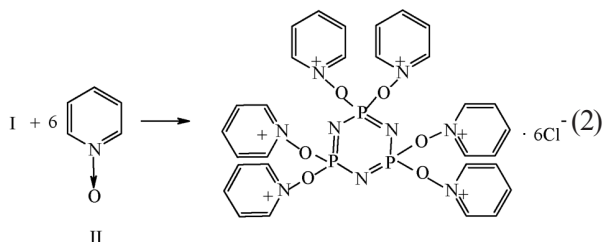
Интерес к фосфазену и в настоящее время достаточно широк, о чем свидетельствуют публикации [4], [5], [6], [8], [9], [10].

Преимущественными реакциями фосфазена являются реакции нуклеофильного замещения, которые в зависимости от условий протекают по механизмам S_N1 или S_N2 . Установлено, что реакции замещения с участием высокоосновных нуклеофилов протекают в мягких условиях и практически с количественным выходом. Что же касается реакций фосфазена с низкоосновными нуклеофильными реагентами, то они возможны только в присутствии органических оснований, в качестве которых используются легкодоступные пиридин или триэтиламин.

В [2] изучены кинетические закономерности реакций фенолиза и гидролиза фосфазена в присутствии триэтиламина и трибутиламина. Установлено, что роль органического основания в этих процессах заключается не только в связывании выделяющегося в ходе реакции хлороводорода, но и в увеличении органическим основанием нуклеофильных свойств субстрата за счет переноса протона. Например, гидролиз (I) в этих условиях протекает по схеме:

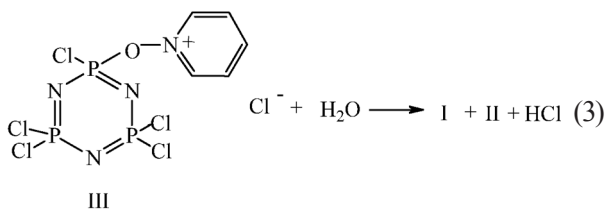


В реакции соединения (I) с пиридином, N-метилимидазолом, диазобисциклооктаном и рядом гетероароматических N-оксидов с достаточно высокими выходами выделяются соединения «ониевой» структуры [1], получение которых, на примере N-оксида пиридина, может быть представлено схемой:



Что же касается стерически затрудненного триэтиламина, то для него неизвестны продукты реакции с соединением (I).

Выделенные и охарактеризованные современными методами физико-химического анализа соединения «ониевой» структуры фосфазена с рядом перечисленных гетероциклических соединений различной основности и N-оксидами пиридинового ряда неоднократно постулировались в качестве промежуточных продуктов в реакциях нуклеофильного замещения галогена в соединении (I). Подтвердить участие этих солей в качестве промежуточных продуктов в реакциях нуклеофильного замещения в соединении (I) оказалось очень сложно, так как выделяемые соли практически нерастворимы в органических растворителях. Оказалось, что единственным растворителем, в котором они растворяются, является вода. Для установления возможного участия «ониевых» солей как промежуточных продуктов в процессе гидролиза нами проведен следующий эксперимент. В раствор фосфазена в ацетонитриле добавлялся раствор N-оксида в этом же растворителе. Динамику процесса оценивали по полосе поглощения N-оксида пиридина. При сливании указанных растворов во времени наблюдается уменьшение полосы поглощения N-оксида, при этом реакция проходит практически до конца. Наиболее вероятным процессом при этом с учетом выделяющихся солей можно считать процесс солеобразования. После дальнейшего добавления в ацетонитрильный раствор избытка воды наблюдается увеличение во времени полосы поглощения N-оксида пиридина. Этот процесс наиболее вероятно связан с гидролизом образующейся соли фосфазена с N-оксидом пиридина (3), в результате чего выделяется N-оксид, который как слабое основание практически не связывает выделяющуюся хлороводородную кислоту в водном растворе.



Полученные данные свидетельствуют о том, что в реакциях нуклеофильного замещения в фосфазене с участием N-оксида пиридина первоначально образуется соль, которая лежит на координате реакции гидролиза (I) в присутствии N-оксида пиридина.

Ранее в [7] были изучены кинетические закономерности реакций соединения (I) с некоторыми N-оксидами. Эти процессы нашли отражение и в диссертационной работе [1], однако в этих работах не изучалось влияние воды на исследуемый процесс.

Целью настоящего исследования явилось изучение количественных закономерностей реакции фосфазена с N-оксидом пиридина в органическом растворителе в присутствии воды.

Наличие шести реакционных центров в соединении (I) предусматривает возможность замещения шести атомов галогена. Для того чтобы упростить задачу кинетического исследования, нами изучался только процесс монозамещения. В этом случае реакция между фосфазеном и N-оксидом описывается уравнением:



Процесс монозамещения в субстрате обеспечивался условиями проведения реакции, когда концентрация фосфазена на несколько порядков превышала концентрацию N-оксида.

Кинетику расходования N-оксида пиридина проводили в смеси $\text{CCl}_4\text{-CH}_3\text{CN}$ (15 об.% CH_3CN). Такое соотношение растворителей обеспечивало скорость реакции, которая могла легко фиксироваться спектрально. Концентрация воды была в избытке по отношению к N-оксиду, однако соизмерима с концентрацией фосфазена. В общем условия проведения реакции соответствовали следующему соотношению реагентов: $[\text{H}_2\text{O}] \approx [\text{I}] > [\text{II}]$.

Контроль за ходом процесса осуществлялся спектрофотометрически по убыли полосы поглощения N-оксида пиридина в области 280 нм. В указанных условиях проведения эксперимента наблюдаемая константа скорости псевдопервого порядка ($k_{\text{набл}}, \text{с}^{-1}$) постоянна по ходу процесса (таблица), что указывает на первый порядок реакции по N-оксиду пиридина.

Наблюдаемая константа скорости реакции (с^{-1}), рассчитанная по кинетической кривой «оптическая плотность – время»

Время, с	Оптическая плотность	$k, \text{с}^{-1}$
210	0,938	$1,248 \cdot 10^{-4}$
510	0,906	$1,252 \cdot 10^{-4}$
810	0,878	$1,210 \cdot 10^{-4}$
1110	0,848	$1,225 \cdot 10^{-4}$
1410	0,821	$1,215 \cdot 10^{-4}$
1710	0,79	$1,249 \cdot 10^{-4}$
2010	0,768	$1,218 \cdot 10^{-4}$
2310	0,745	$1,250 \cdot 10^{-4}$

Зависимость $k_{\text{набл}} (\text{с}^{-1})$ от концентрации фосфазена (I) представлена на рис. 1.

Прямая в координатах $k_{\text{набл}} - [\text{I}]$ исходит из начала координат, что соответствует первому порядку реакции по фосфазену. Первый порядок по фосфазену подтверждается и значением тангенса угла наклона в координатах $\lg k_{\text{набл}} - \lg [\text{I}]$.

Было установлено, что наблюдаемая константа скорости псевдопервого порядка также зависит и от концентрации воды. Эта зависимость также

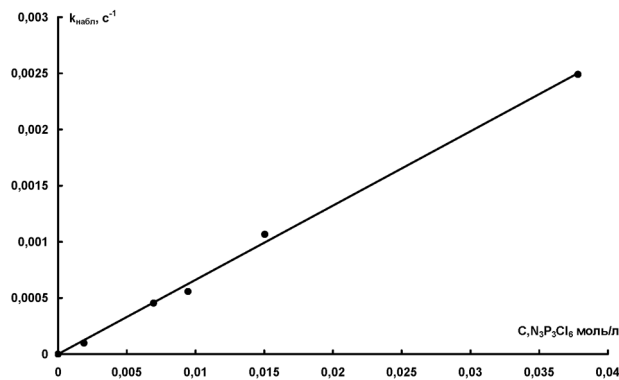


Рис. 1. Зависимость $k_{\text{набл}}$ (с^{-1}) от концентрации фосфазена (I) в реакции с N-оксидом пиридина, $r = 0,9987$

линейна, однако прямая не исходит из начала координат, отсекая на ординате соответствующий отрезок (рис. 2).

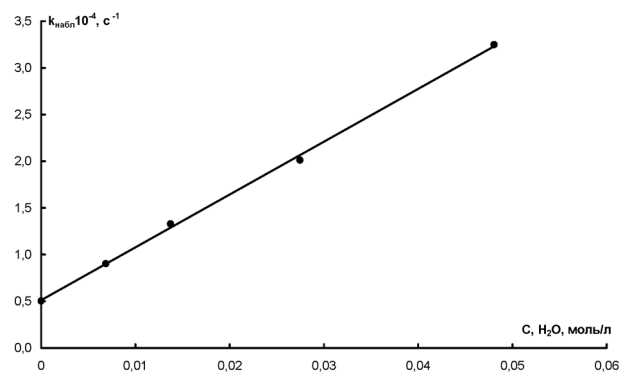
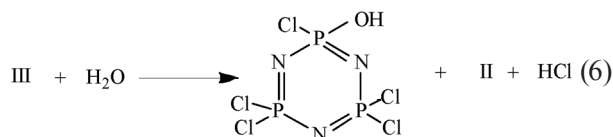
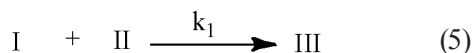


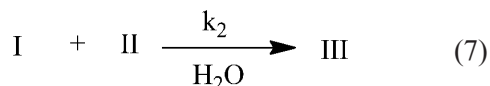
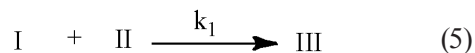
Рис. 2. Зависимость наблюдаемой константы ($k_{\text{набл}}$) от концентрации воды, $r = 0,9992$

При этом порядок по воде, определенный по зависимости $\lg k_{\text{набл}} - \lg [\text{H}_2\text{O}]$, меньше единицы и равен $0,72 \pm 0,02$.

Постоянство по ходу процесса наблюдаемой константы скорости реакции и в то же время ее зависимость от концентрации воды не могут быть связаны с возможным протеканием процесса гидролиза соли, образующейся на первой стадии (6):



Наиболее вероятно зависимость $k_{\text{набл}}$ (с^{-1}) от концентрации воды может быть объяснена протеканием реакции солеобразования по двум потокам – некаталитическому и при каталитическом участии воды:



Скорость расходования N-оксида в некаталитической стадии (5) с учетом условий проведения реакции описывается уравнением:

$$-\frac{d(\text{II})}{dt} = k_1[\text{I}]_0[\text{II}]_t.$$

Скорость каталитической стадии (7) определяется как:

$$-\frac{d(\text{II})}{dt} = k_1[\text{I}]_0[\text{II}]_t[\text{H}_2\text{O}]_0.$$

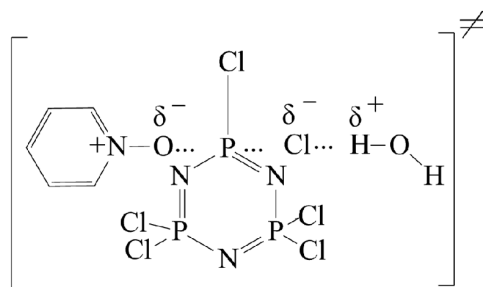
Общее расходование N-оксида в стадиях (5) и (7) равно:

$$-\frac{d(\text{II})}{dt} = k_1[\text{I}]_0[\text{II}]_t + k_2[\text{I}]_0[\text{II}]_t[\text{H}_2\text{O}]_0.$$

Наблюдаемая константа скорости в этом случае определяется уравнением:

$$k_{\text{набл}} = k_1[\text{I}]_0 + k_2[\text{I}]_0[\text{H}_2\text{O}]_0.$$

Представленные формально-кинетические закономерности получают объяснение в рамках предложенного механизма, в соответствии с которым наиболее вероятно предположить образование соли по механизму $\text{S}_{\text{N}}2$ замещения. Каталитическая роль воды в процессе солеобразования может быть сведена к сольватации уходящей группы в переходном состоянии:



Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно считать, что «ониевая» соль фосфазена (I) с N-оксидом пиридина может выступать в роли интермедиата в процессах замещения галогена в фосфазене (I). Этот процесс может осуществляться при каталитическом действии воды. Роль воды может быть сведена к сольватации полярного переходного состояния и облегчению разрыва связи фосфора с уходящим галогеном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вапиров В. В. Реакционная способность гексахлорциклотрифосфазатриена в реакциях нуклеофильного замещения: Автореф. дисс. ... д-ра химич. наук. СПб.; Петрозаводск, 2000. 40 с.
2. Вапиров В. В., Зайцев Д. О. Кинетические закономерности гидролиза гексахлорциклотрифосфазатриена в водном ацетонитриле в присутствии триэтиламина // Журнал общей химии. 2006. Т. 67. № 8. С. 1282–1285.
3. Оллок Г. Фосфазотистые соединения. М.: Мир, 1976. 563 с.
4. Терехов И. В., Филатов С. Н., Орлов А. И., Савельева А. В., Заузина Е. А. Синтез отвердителей фенол-формальденных смол на основе арилоксициклотрифосфазенов // Успехи в химии и химической технологии. 2013. Т. 27. № 3. С. 112–114.
5. Терехов И. В., Чистяков Е. М., Филатов С. Н., Дерновая Е. С., Заузина Е. А. Синтез арилоксициклотрифосфазенов с amino- и гидроксогруппами // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. № 4. С. 106–109.
6. Тупиков А. С., Чистяков Е. М., Киреев В. В. Синтез β-дикетона на основе гекса-пара-метилкарбоксифеноксидотрифосфазена // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. 26. № 4. С. 114–117.
7. Шумейко А. Е., Тицкий Г. Д., Вапиров В. В., Курченко Л. П. Исследование кинетики взаимодействия гексахлорциклотрифосфазатриена с 4-метилпиридин-N-оксидом // Журнал общей химии. 1987. Т. 57. № 5. С. 1051–1054.
8. Allcock H. R., Hartle T. J., Taylor J. P., Sunderland N. J. Organic polymers with cyclophosphazene side groups: influence of the phosphazene on physical properties and thermolysis // Macromolecules. 2001. Vol. 34. № 12. P. 3896–3904.
9. Huang Woei-Kae, Yeh Jen-Taut, Chen Kwei-Ju, Chen Kan-Nan. Flame retardation improvement of aqueous-based polyurethane with aziridinyl phosphazene curing system // J. Appl. Polym. Sci. 2001. Vol. 79. № 4. P. 662–673.
10. Vaugois Y., Mazzah A., De Jaeger R., Habimana J. Cyclic phosphonitrilic compounds bearing -N=PCl₃ group as homogenous catalyst towards the silanol condensation // Phosph., Sulfur and Silicon and Relat. Elem. 2004. Vol. 179. № 9. P. 1819–1840.

Vapirv V. V., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

Zaytsev D. O., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

KINETIC CHARACTERISTICS OF HEXACHLOROCYCLOTRIPHOSPHAZATRIENE AND PYRIDINE N-OXIDE REACTION IN MIXED ORGANIC SOLVENTS IN PRESENCE OF WATER

Hexachlorocyclotriphosphazatriene reacts with pyridine N-oxide to form onium salt. This salt is an intermediate product of hexachlorocyclotriphosphazatriene hydrolysis. The reaction is characterized as a first-order reaction with respect to both phosphazene and N-oxide. The water produces a catalytic effect on the investigated process. The catalytic role of the water consists in the solvation of the leaving group, which helps in its disintegration.

Key words: phosphazene, chemical kinetic, reaction mechanism

REFERENCES

1. Vapirv V. V. *Reaktsionnaya sposobnost' geksakhlorsiklotrifosfazatriyena v reaktsiyakh nukleofil'nogo zameshcheniya: Aftoref. diss. ... d-ra khim. nauk* [Reactivity of hexachlorocyclotriphosphazatriene in nucleophilic substitution reactions. Author's abst. Dr. chem. sci. diss.]. St. Petersburg, 2000. 40 p.
2. Vapirv V. V., Zaytsev D. O. Kinetic relationships of hexachlorocyclotriphosphazatriene hydrolysis in aqueous acetonitrile in the presence of triethylamine // Russian Journal of General Chemistry. 2006. Vol. 76. № 8. P. 1232–1235.
3. Allcock H. R. Phosphorus Nitrogen Compounds. New-York, Academic Press Inc., 1972. 471 p.
4. Terekhov I. V., Filatov S. N., Orlov A. I., Savel'eva A. V., Zauzina E. A. Synthesis of phenol-formaldehyde resins curing agent based on aryloxycyclotriphosphazenes [Sintez otverditeley fenolformal'denidnykh smol na osnove arilok-sitsiklotrifosfazenov]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Scientific progress in Chemistry and Chemical Technology]. 2013. Vol. 27. № 3. P. 112–114.
5. Terekhov I. V., Chistyakov E. M., Filatov S. N., Dernovaya E. S., Zauzina E. A. Synthesis of aryloxycyclotriphosphazene with amine and hydroxyl groups [Sintez arilok-sitsiklotrifosfazenov s amino- i gidroksogruppami]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Scientific progress in Chemistry and Chemical Technology]. 2012. Vol. 26. № 4. P. 106–109.
6. Tupikov A. S., Chistyakov E. M., Kireev V. V. Synthesis of β-diketone on the basis of hexa-p-methylcarboxy-phenoxy-cyclotriphosphazene [Sintez β-diketona na osnove geks-para-metilkarboksifenok-sitsiklotrifosfazena]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Scientific progress in Chemistry and Chemical Technology]. 2012. Vol. 26. № 4. P. 114–117.
7. Shumeyko A. E., Titskiy G. D., Vapirv V. V., Kurchenko L. P. Study of the kinetics of hexachlorocyclotriphosphazotriene with 4-methylpyridine-N-oxide [Issledovanie kinetiki vzaimodeystviya geksakhlorsiklotrifosfazatriyena s 4-metilpiridin-N-oksidom]. *Zhurnal obshchey khimii* [Russian Journal of General Chemistry]. 1987. Vol. 57. № 5. P. 1051–1054.
8. Allcock H. R., Hartle T. J., Taylor J. P., Sunderland N. J. Organic polymers with cyclophosphazene side groups: influence of the phosphazene on physical properties and thermolysis // Macromolecules. 2001. Vol. 34. № 12. P. 3896–3904.
9. Huang Woei-Kae, Yeh Jen-Taut, Chen Kwei-Ju, Chen Kan-Nan. Flame retardation improvement of aqueous-based polyurethane with aziridinyl phosphazene curing system // J. Appl. Polym. Sci. 2001. Vol. 79. № 4. P. 662–673.
10. Vaugois Y., Mazzah A., De Jaeger R., Habimana J. Cyclic phosphonitrilic compounds bearing -N=PCl₃ group as homogenous catalyst towards the silanol condensation // Phosph., Sulfur and Silicon and Relat. Elem. 2004. Vol. 179. № 9. P. 1819–1840.

Поступила в редакцию 15.06.2015

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ РОГОВ

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

ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ ШТЕРКЕЛЬ

программист РЦНИТ, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
shterkel_ivan@petrsu.ru

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ ГРАФЕМ НА РАСПОЗНАВАНИЕ СИМВОЛОВ МЕТОДОМ СРАВНЕНИЯ ФОРМ*

Рассматривается распознавание изображений рукописных документов методом сравнения форм с целью нахождения оптимального алгоритма распределения точек изображения символа. В работе приведено описание трех методов выбора точек изображения графем и их влияния на качество распознавания. Каждый из методов протестирован на контрольной выборке из коллекции изображений стенографических документов размерностью 300 символов. Изображения представлены в бинарном виде. Полученные результаты позволили определить наиболее подходящий алгоритм выбора точек для распознавания методом сравнения форм. Выбор точек с использованием структурных аспектов их расположения в символе показал наилучшие результаты.

Ключевые слова: распознавание рукописных символов, распределение точек, метод сравнения форм, стенографические документы

ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных направлений исследований в области компьютерного зрения является распознавание рукописных документов. Существует множество решенных практических задач, например распознавание записей на почтовых отправлениях, банковских чеках, распознавание протоколов о происшествиях [1], [2]. Одной из востребованных задач является распознавание стенографических документов. Ее решение вызывает определенные сложности. Во-первых, в России в архивах находится большое число стенографических документов XIX века, которые не были расшифрованы, а специалистов, владеющих знаниями о существовавших стенографических системах, нет. Наличие расшифрованных документов позволяет с помощью системы распознавания автоматизировать процесс дальнейшей расшифровки стенограмм. Во-вторых, часто качество документов недостаточно высокое. Встречаются повреждение бумаги, выцветание записей, исправления текста, заваливание строк [3]. Все это создает проблемы при обработке изображений и влияет на точность распознавания.

РАСПОЗНАВАНИЕ СИМВОЛОВ

В рамках работы были проведены следующие этапы [4]:

- сегментация символов стенограмм;
- бинаризация символов;
- очистка от шумов и мусора.

Пример обработки символов показан на рис. 1. В результате обработки была получена коллек-

ция более чем из 5000 изображений стенографических символов. Для исследования влияния распределения выбранных точек изображения на качество работы методом сравнения форм была подготовлена контрольная выборка из 300 символов.

В качестве основного метода сравнения стенографических символов нами был выбран метод сравнения форм [5], [6]. Метод основан на определении положения точек изображения относительно друг друга. Количество точек сравниваемых изображений должно быть одинаковым. Обозначим множество точек за N . Выбор точек изображения осуществляется по заданным правилам из множества D . В зависимости от выбора множества точек результат распознавания может измениться, так как оно определяет геометрическую структуру символа.

После выбора для каждой точки пространство вокруг нее делится на зоны (назовем их корзинками), как показано на рис. 2с. Оставшиеся точки, число которых $N-1$, распределяются по корзинкам. Примем число корзинок равным K .

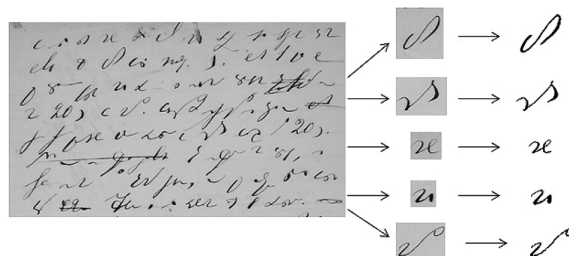


Рис. 1. Фрагмент стенограммы и обработанные символы

В результате для каждого изображения мы получаем массив значений размерности $N \times K$.

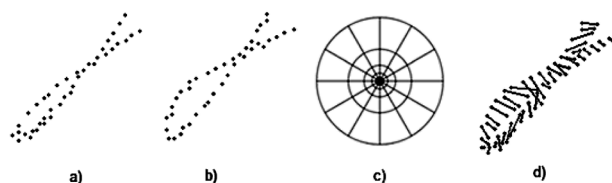


Рис. 2. Метод сравнения форм: а) и б) – точки сравниваемых изображений; в) границы корзинок; г) связанные точки

За меру сходства изображений примем суммарное смещение N точек одного изображения относительно N точек другого. Точки изображений сопоставляются с помощью решения задачи назначений (рис. 2д). Стоимость соединения точек мы определяем на основании распределения точек по корзинам с помощью критерия X^2 .

$$C_{i,j} = C(p_i, q_j) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{k=1}^K \frac{[h_i(k) - h_j(k)]^2}{h_i(k) + h_j(k)},$$

$h_i(k)$ – число точек в k -й корзине для i -й точки, где $i = 1..N$; $k = 1..K$.

В качестве исходных данных задачи назначений мы получаем матрицу C со значениями c_{ij} , где $i, j = 1..N$. Задача назначений решается венгерским методом.

$$H(\pi) = \sum_i C(p_i, q_{\pi(i)}).$$

$$\sum_i C(p_i, q_{\pi(i)}) \rightarrow \min.$$

В результате мы получаем сопоставление выбранных N точек двух изображений. За меру сходства принимается суммарное Евклидово расстояние между этими точками.

Рассмотрим различные варианты выбора точек.

Выбор точек с использованием равномерной случайной величины. Используем генератор случайных величин с дискретным равномерным распределением. На каждом шаге мы получаем номер точки и извлекаем точку из множества D . В итоге на n шаге получаем множество выбранных точек N . Данный алгоритм не требует большого числа вычислений, но качество распределения точек низкое.

Выбор точек с использованием правил для обеспечения визуального равномерного распределения точек на плоскости. Используем генератор случайных величин с дискретным равномерным распределением и правило позиционирования точек. Первый этап заключается в определении максимального расстояния между любыми двумя точками изображения. Максимальное расстояние, деленное на 10, будет контрольным расстоянием. Следующий этап предполагает последовательный выбор случайных точек. На каждом шаге выбирается точка, ко-

торая проходит проверку. Расстояние от данной точки до любой ранее выбранной точки должно превышать контрольное расстояние. Если точка проходит проверку, то она извлекается из множества D во множество N . Если оставшиеся в D точки не проходят проверку позиционирования, а необходимое число точек во множестве N не достигнуто, то уменьшается контрольное расстояние. В результате полученное множество N содержит максимально удаленные друг от друга точки. Данный алгоритм требует большее число вычислений, чем первый, что связано с проверкой правил и многократным обходом множества D . При этом полученные результаты равномерно распределены на плоскости изображения символа.

Выбор точек с использованием структурных аспектов их расположения в символе.

Первый этап. Выбор точек осуществляется на основе их схожести по расположению в символе. Для каждой точки изображения мы строим множество корзинок и подсчитываем вхождения остальных точек в них. Обозначим число корзинок для каждой точки K . В результате мы получаем D множеств K . Следующий этап заключается в вычислении расстояний X^2 между всеми точками изображения. Полученные расстояния сортируются в порядке убывания. Обозначим множество расстояний X . На третьем этапе осуществляется выбор точек. Первая пара точек с самым большим расстоянием является исходной и имеет наиболее различные структурные показатели. Последующие пары выбираются из упорядоченного списка расстояний в порядке убывания. Важным фактором является проверка схожести структурных признаков не только самой пары, но и соотношения точек пары с ранее выбранными точками. Пусть ij – текущая пара для выбора. Тогда рассматриваем выбор точки i . Расстояние R_{ij} между точками i и j берем как эталон на данном шаге. Далее определяем расстояние от точки i до каждой точки из множества N .

$$R_i = \min_{p=1..N} R_{ip}.$$

Если R_i меньше, чем эталонное R_{ij} , то точка не выбирается. Проверка точки j происходит аналогично. Выбор пары точек и их проверка происходит до наполнения множества N необходимым числом точек. Данный метод требует большого числа вычислений. При этом он учитывает структурные особенности написания символа, например толщину линий. Распределение точек получается визуально равномерным на плоскости.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСПОЗНАВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЫБОРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК

На рис. 3 приведены изображения распределения точек для каждого из перечисленных методов.

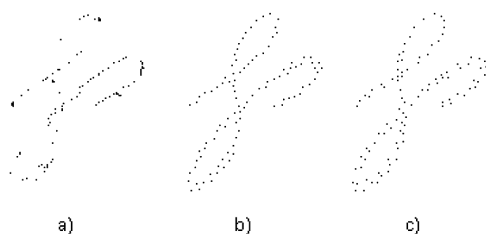


Рис. 3. Пример распределения точек

Результаты работы метода сравнения форм с различными распределениями точек на контрольной выборке приведены в таблице. Первая строка соответствует выбору точек с использованием равномерной случайной величины. Вторая – выбору точек с использованием правил для обеспечения визуально равномерного распределения точек на плоскости. Последняя

строка содержит результаты работы метода сравнения форм с выбором точек с использованием структурных аспектов их расположения в символе.

Результаты работы метода сравнения форм

	Точность	Полнота	F-мера
1	41 %	89 %	0,561
2	54 %	93 %	0,684
3	54 %	95 %	0,688

Наилучший результат показал выбор точек с использованием структурных аспектов их расположения в символе. Данный метод имеет большую вычислительную сложность на этапе подготовки, но современные технологии, такие как распределенные вычисления и облачные технологии, позволяют достичь приемлемого времени обработки символов.

* Работа выполняется при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности на 2012–2016 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горский Н., Анисимов В., Горская Л. Распознавание рукописного текста: от теории к практике. СПб.: Политехника, 1997. 126 с.
2. Дробков А. В., Семенов А. Б. Обзор и анализ распознавателей рукопечатных символов // Математические методы распознавания образов. Тверь: Тверской государственный университет, 2011. С. 350–353.
3. Местецкий Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 288 с.
4. Рогов А. А., Скабин А. В., Штеркель И. А. Методы поиска схожих изображений стенографических символов / Информационная среда вуза XXI века: Материалы VII Междунар. научно-практ. конф. Петрозаводск, 2013. С. 170–173.
5. Рогов А. А., Штеркель И. А. Сравнение методов распознавания объектов на стенографических изображениях // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2014. № 2 (139). С. 118–120.
6. Belongie S., Malik J., Puzicha J. Shape matching and object recognition using shape contexts // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. Vol. 24. № 4. P. 509–522.

Rogov A. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

ShterkeI' I. A., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

THE INFLUENCE OF GRAPHEME IMAGE DOTS' DISTRIBUTION ON SYMBOL RECOGNITION BY THE SHAPE MATCHING METHOD

The paper is concerned with the shape and image recognition method of the shorthand reports' images. The method is studied with the aim of optimal algorithm determination for the symbol image dots' distribution. This work contains a description of three grapheme image dots selection methods and results of their influence on the effectiveness of recognition. The research is based on the collection of shorthand reports of the XIXth century. All collected images were segmented and transferred into a binary form. Every method was tested by the control image set. The size of the control image set contains 300 symbols. The obtained results assisted in determination of the most suitable dot selection algorithm for the shape and image recognition method. This method is a selection method based on structural features.

Key words: optical character recognition, dots' distribution, comparison of selection methods, shorthand reports

REFERENCES

1. Gorskiy N., Anisimov V., Gorskaya L. *Raspoznavanie rukopisnogo teksta: ot teorii k praktike* [Recognition of handwritten text: from theory to practice]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 1997. 126 p.
2. Drobkov A. V., Semenov A. B. Review and analysis of hand printed symbols' recognizers [Obzor i analiz raspoznavateley rukopechatnykh simvolov]. *Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov* [Mathematical methods of pattern recognition]. Tver, Tver state university Publ., 2011. P. 350–353.
3. Mestetskiy L. M. *Nepreryvnaya morfologiya binarnykh izobrazheniy: figury, skelety, tsirkulyary* [Continuous morphology of binary images: shapes, skeletons, circulars]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009. 288 p.
4. Rogov A. A., Skabin A. V., ShterkeI' I. A. Searching techniques of similar images of shorthand symbols [Metody poiska skhozhih izobrazheniy stenograficheskikh simvolov]. *Informatsionnaya sreda vuza XXI veka: Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. 7th Int. Scientific Conference "Institution informational environment of higher education of XXI century"]. Petrozavodsk, 2013. P. 170–173.
5. Rogov A. A., ShterkeI' I. A. Comparison of object recognition methods on shorthand reports [Sravnenie metodov raspoznavaniya ob'ektov na stenograficheskikh izobrazheniyakh]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural & Engineering Sciences]. 2014. № 2 (139). P. 118–120.
6. Belongie S., Malik J., Puzicha J. Shape matching and object recognition using shape contexts // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2002. Vol. 24. № 4. P. 509–522.

Поступила в редакцию 28.08.2015

АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ ШТЫКОВ

преподаватель кафедры информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета, Петрозаводский государственный университет (Петрозаводск, Российская Федерация)
shtykoff@gmail.com

ИЗМЕРЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВЫХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОСЪЕМКИ*

Показано, что для расчета реальных значений скоростей макрочастиц, составляющих плазменно-пылевые структуры, с использованием скоростной съемки существуют оптимальные частоты съемки объектов. Проведенные эксперименты по набору статистически достоверных данных приводят к заключению, что коэффициенты диффузии, рассчитанные различными методами, совпадают только в определенном диапазоне данных, полученных при использовании скоростной съемки на определенных частотах.

Ключевые слова: плазменно-пылевые структуры, коэффициент самодиффузии, кинетические характеристики

ВВЕДЕНИЕ

Определение скоростей макрочастиц, составляющих плазменно-пылевые структуры (ППС), а также коэффициентов диффузии является важной задачей для расчета кинетических характеристик ППС, определения фазового состава ППС, более глубокого изучения процессов массопереноса в структурах. Основной группой методов для определения и расчета кинетических характеристик ППС являются бесконтактные методы, основанные на получении спектральной картины рассеянного излучения на структуре, или методы видеорегистрации структуры. Все они имеют достаточно высокую точность, но их применимость зависит от фазового состояния ППС. Комбинированное воздействие на ППС внешних сил, сил межчастичного взаимодействия и процессов диссипации приводит к формированию как квазистационарных структур (кристаллическая фаза), так и сложных колебательных и даже хаотических систем (жидкая или газообразная фаза).

На сегодняшний день существует большое количество работ, описывающих методики расчета скоростей ППС в зависимости от условий их создания, их состава и процессов, протекающих в них. В [1] эксперименты проводились для монодисперсных частиц в приэлектродном слое высокочастотного разряда в аргоне давлением $P = 0,03\text{--}0,5$ Торр при мощности разряда 2–30 Вт. Регистрация положения пылевых частиц осуществлялась высокоскоростной CMOS-камерой с частотой съемки 500 кадров в секунду. Время эксперимента составляло 5–10 с. Видеозапись обрабатывалась при помощи специальной программы, которая позволяла идентифицировать положения отдельных пылевых частиц в поле зрения видеосистемы. В результате обработки видеозаписей горизонтального сечения были получены скорости макрочастиц при разных значениях давления газа. В [5] эксперименты проводились для монодисперсных полимерных частиц радиусом $a = 1,7$ мкм в широком диапазоне параметров плазмы, который обеспечивался путем измене-

ния давления $P = 0,36\text{--}0,98$ мбар и мощности $W = 0,15\text{--}0,98$ Вт емкостного ВЧ-разряда в аргоне. Видеозапись обрабатывалась при помощи специальной программы, которая позволяла идентифицировать положения и вычислять смещение отдельных частиц. На основе программы определялись спектры скоростей макрочастиц в различных областях наблюдаемых пылевых структур. В [4] исследовалась кинетика макрочастиц в упорядоченных плазменно-пылевых структурах комплексной плазмы тлеющего разряда в газоразрядных трубках при низких давлениях (0,3–3 Торр) и малых токах (0,3–1,5 мА). Съемка велась с помощью ПЗС-камеры с частотой 25 кадров в секунду. Программой на основе Imaq Vision определялись положения отдельных частиц. Показана зависимость скорости макрочастиц от таких параметров, как давление и ток. В рассмотренных работах для определения скорости частиц применялся метод прямой регистрации, то есть определялись положения отдельных частиц на видеокдрах. Для съемки плазменно-пылевых структур использовались камеры с частотой съемки от 25 до 500 кадров в секунду.

В настоящей работе проведены измерения скоростей с помощью высокоскоростной видеокамеры со скоростями от 250 до 1000 кадров в секунду. На основании полученных данных рассчитаны коэффициенты диффузии ППС методом прямой регистрации. Рассчитанные значения коэффициентов диффузии были сопоставлены со значениями, полученными методом корреляционной спектроскопии. Объектом исследования являются упорядоченные плазменно-пылевые структуры в плазме инертных газов, которые создаются путем инжектирования частиц вещества в плазменный разряд. Основным методом, используемым в работе, является метод прямой регистрации. Данным методом определены значения коэффициентов самодиффузии и получены данные о скоростях движения макрочастиц, составляющих ППС.

МЕТОД ПРЯМОЙ РЕГИСТРАЦИИ

В методе прямой регистрации определяется положение всех частиц пылевой плазмы на изображении. Изображение содержит сотни частиц. Их координаты по оси x и по оси y могут быть вычислены с использованием метода моментов, который заключается в оценке подпиксельной позиции частицы. Суммарная ошибка в вычислении включает pixel locking эффект и случайный шум на каждом пикселе. Координаты частицы обычно оценивают как центр яркого пятна на изображении. После вычисления позиции частиц скорость измеряется как отношение смещения частиц на двух последовательных кадрах к интервалу времени между кадрами. Также возможно определять скорость частиц при слежении за их перемещением на множестве последовательных пар кадров и рассчитать значение коэффициента диффузии, пользуясь следующей формулой:

$$D(t) = \frac{\left\langle \left(r(t) - r_0(t) \right)^2 \right\rangle_N}{2nt},$$

где (t) – начальный радиус вектор-частицы, $r(t)$ – радиус вектор-частицы в момент времени t , $\langle \rangle$ – усреднение по ансамблю, состоящему из N частиц, a – усреднение по всем отрезкам времени длительностью t за полное время измерений. Время t – время проведения эксперимента, $n = 2$ или $n = 3$ соответственно для двумерной или трехмерной систем [6].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для проведения эксперимента была использована установка «Плазменный кристалл». Подробное описание установки приведено в [7]. Стеклообразная разрядная трубка, в которой индуцировалась плазма тлеющего разряда и формировалась ППС, откачивалась до давления 10^{-5} Па и заполнялась рабочим газом. Для вброса частиц во время эксперимента применялся контейнер с частицами. После включения высоковольтного источника тока разрядный ток в трубке задавался набором сопротивлений. Визуализация пылевой структуры осуществлялась полупроводниковым лазером «DTL-316» и набором линз, формирующих «лазерный нож», в рассеянном свете которого возможно наблюдение ППС. В состав программно-аппаратного комплекса для видеоизображений входили: скоростная видеокамера «Hispec 1» и программное обеспечение «Hispec Control Software», реализующее получение данных в режиме реального времени, сохранение и их обработку.

Эксперимент проводился следующим образом: в объем трубки напускался рабочий газ в диапазоне давлений от 20 до 120 Па. Были использованы неон и аргон. После генерации разряда устанавливалось значение тока разряда на уровне 1,5 мА. В область плазменного разряда производилось инжектирование пылевых частиц (цинк, оксид алюминия), после чего выдерживалось время для стабилизации параметров ППС. Далее производилась настройка лазера для визуализации ППС и

регистрация видеофрагмента в течение одной минуты с разными скоростями от 25 до 1500 кадров в секунду. После сохранения экспериментальных данных в виде видеоизображений производился расчет значений коэффициентов диффузии.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках проведения эксперимента по измерению скоростей движения макрочастиц, составляющих ППС, находящихся в «жидком» фазовом состоянии, было выявлено, что при увеличении частоты кадров средняя скорость движения частиц увеличивалась (табл. 1). Это можно объяснить тем, что при расчете средней скорости частицы берется величина ее перемещения за момент времени t , равный времени, прошедшему между двумя кадрами (в случае съемки с частотой 25 кадров в секунду это составляет 0,04 сек., а для частоты 1500 кадров в секунду – 0,6 миллисекунды). Очевидно, что при достаточно высокой скорости движения макрочастиц увеличение частоты кадров будет уточнять траекторию движения частицы и отражать реальный путь, проходящий ею за разный момент времени. При этом при высоких скоростях съемки траектория, которую прошла частица между кадрами, сравнима с размерами частицы, что вносит существенную погрешность в расчет реального пути, который прошла частица за время t . Таким образом, нужно определить оптимальный режим скоростной съемки, необходимый для вычисления реальной скорости частицы, как мгновенной, так и средней.

Таблица 1
Средние значения скоростей макрочастиц, рассчитанных при разных частотах съемки

Частота кадров, кадры/сек.	V , см/сек
25	$0,031 \pm 0,003$
50	$0,06 \pm 0,007$
100	$0,11 \pm 0,02$
150	$0,13 \pm 0,02$
250	$0,14 \pm 0,03$
300	$0,14 \pm 0,03$
375	$0,18 \pm 0,04$
500	$0,19 \pm 0,06$
750	$0,25 \pm 0,09$
1500	$0,37 \pm 0,17$

Экспериментальным путем, на основании измерения скоростей частиц для ППС с «жидким» фазовым состоянием, состоящих из частиц цинка, левитирующих в аргонной плазме (диапазон токов 1–1,5 мА, давлений 100–130 Па), оптимальная частота съемки скоростной камерой была определена в диапазоне [100; 500] кадров в секунду.

Для подтверждения этих данных было произведено сравнение значений коэффициента самодиффузии, полученных методом прямой регистрации с использованием изображений, полученных при съемке с частотой в заявленном диапазоне и значениями коэффициента самодиффузии, рассчитанными методом корреляционной спектроскопии. Оба метода дают равные, в пределах по-

решности, значения коэффициента самодиффузии (табл. 2). Также было проведено сравнение полученных данных с данными, представленными в экспериментальных работах других авторов [1], [2], [5], на основании чего можно сделать вывод, что порядок величины коэффициента сравним, что может говорить о сопоставимости данных. А тот факт, что значения, полученные экспериментально, согласуются с теоретическими моделями [3], дает право утверждать, что полученные данные в рамках настоящей работы достоверны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе произведен расчет значений скоростей макрочастиц, составляющих ППС, на основании данных скоростной съемки. Сделан вывод о том, что существуют оптимальные режимы съемки, при которых возможен более точный расчет значений скоростей движения макрочас-

Таблица 2
Сравнение данных, полученных методом прямой регистрации и методом корреляционной спектроскопии

	Ток, мА	Давление, Па	Газ	Материал частиц	D, см ² /с	Доверительный интервал (p = 0,9)
Метод корреляционной спектроскопии	0,6 0,8 1,0 1,2	80	Ar	Al ₂ O ₃	$0,5 \times 10^{-7}$ $1,3 \times 10^{-7}$ $0,9 \times 10^{-7}$ $1,5 \times 10^{-7}$	$\pm 0,09 \times 10^{-7}$
			Ne	Zn		
			Ar	Al ₂ O ₃	$0,3 \times 10^{-7}$ $1,3 \times 10^{-7}$ $1,0 \times 10^{-7}$ $1,4 \times 10^{-7}$	
			Ne	Zn		
Метод прямой регистрации	0,6 0,8 1,0 1,2	80	Ar	Al ₂ O ₃	$0,3 \times 10^{-7}$ $1,3 \times 10^{-7}$ $1,0 \times 10^{-7}$ $1,4 \times 10^{-7}$	$\pm 0,1 \times 10^{-7}$

тиц. Выводы подтверждаются сравнением рассчитанных значений коэффициентов диффузии, сделанных на основании данных, полученных различными методами.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ваулина О. С., Петров О. Ф., Фортков В. Е. Анализ процессов массопереноса в неидеальных диссипативных системах (эксперименты в пылевой плазме) // ЖЭТФ. 2008. Т. 133. В. 5. С. 367–379.
2. Ваулина О. С., Петров О. Ф., Фортков В. Е. Моделирование процессов массопереноса на малых временах наблюдения в неидеальных диссипативных системах // ЖЭТФ. 2005. Т. 127. В. 5. С. 1153–1165.
3. Карасев В. Ю., Штыков А. С. Изучение динамики фазовых состояний плазменно-пылевых структур с помощью метода корреляционной спектроскопии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Сер. «Естественные и технические науки». 2015. № 4 (149). С. 104–109.
4. Пискунов А. А. Кинетика макрочастиц в упорядоченных структурах комплексной плазмы тлеющего разряда: Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Петрозаводск, 2011. 122 с.
5. Фортков В. Е., Ваулина О. С., Петров О. Ф., Молотков В. И. Динамика макрочастиц в пылевой плазме в условиях микрогравитации (первые эксперименты на МКС) // ЖЭТФ. 2003. Т. 123. В. 4. С. 798–814.
6. Фортков В. Е., Храпак А. Г., Храпак С. А., Молотков В. И., Петров О. Ф. Пылевая плазма // Успехи физических наук. 2004. Т. 174. № 5. С. 495–544.
7. Bulba A., Khakhaev A., Luizova L., Podryadchikov S., Scherbina A., Shtykov A. The Influence of Physical-Chemical Characteristics of Plasma-Forming Gas and Macroparticle Matter in Complex Plasma on Ordered Structure Self-Organization // International Conference on Physics of Dusty Plasmas. France, Orlean, 2005. AIP. V799. P. 359.

Shtykov A. S., Petrozavodsk State University (Petrozavodsk, Russian Federation)

MEASUREMENT OF KINETIC CHARACTERISTICS' VALUES OF DUSTY PLASMA STRUCTURES BY MEANS OF HI-SPEED VIDEO CAMERA

It is shown that the calculation of actual velocities of plasma dusty particles with the use of high-speed camera can be conducted with the help of the existing optimum rate of shooting. The experiments carried out on a set of statistically significant data lead to the conclusion that the diffusion coefficients calculated by various methods coincide only in a certain range of data obtained with the use of high-speed photography at certain frequencies.

Key words: dusty plasma, self-diffusion coefficient, kinetic characteristics

REFERENCES

1. Vaulina O. S., Petrov O. F., Fortov V. E. Analysis of mass transfer processes in imperfect dissipating systems (experiments in a dusty plasma) [Analiz protsessov massopere-nosa v neideal'nykh dissipativnykh sistemakh (eksperimenty v pyl'evoy plazme)]. *ZhETF*. 2008. Vol. 133. B. 5. P. 367–379.
2. Vaulina O. S., Petrov O. F., Fortov V. E. Modeling of mass transfer processes at small observation times in non-ideal dissipative systems [Modelirovaniye protsessov massopere-nosa na mal'kikh vremenyakh nablyudeniya v neideal'nykh dissipativnykh sistemakh]. *ZhETF*. 2005. Vol. 127. B. 5. P. 1153–1165.
3. Karasev V. Yu., Shtykov A. S. The investigation of phase transition dynamics in dusty plasma by correlation spectroscopy method [Izucheniye dinamiki fazovykh sostoyaniy plazmenno-pylevykh struktur s pomoshch'yu metoda korrelyatsionnoy spektroskopii]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. "Estestvennye i tekhnicheskie nauki"* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences]. 2015. № 4 (149). P. 104–109.
4. Piskunov A. A. *Kinetika makrochastits v uporyadochennykh strukturakh kompleksnoy plazmy tleyushchego razryada: Diss. ... kand. fiz.-mat. nauk* [Kinetics of particulates in ordered structures of complex plasma glow discharge: Dis. ... cand. phys.-mat. sciences]. Petrozavodsk, 2011. 122 p.
5. Fortov V. E., Vaulina O. S., Petrov O. F., Molotkov V. I. Dynamics of particulates in dusty plasma in microgravity (the first experiments on the ISS) [Dinamika makrochastits v pyl'evoy plazme v usloviyakh mikrogravitatsii (per-vye eksperimenty na MKS)]. *ZhETF*. 2003. Vol. 123. B. 4. P. 798–814.
6. Fortov V. E., Khrapak A. G., Khrapak S. A., Molotkov V. I., Petrov O. F. Dusty plasma [Pylevaya plazma]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Phys. Def. Science]. 2004. (174). 5 h. P. 495–544.
7. Bulba A., Khakhaev A., Luizova L., Podryadchikov S., Scherbina A., Shtykov A. The Influence of Physical-Chemical Characteristics of Plasma-Forming Gas and Macro particle Matter in Complex Plasma on Ordered Structure Self-Organization // International Conference on Physics of Dusty Plasmas. France, Orlean, 2005. AIP. V799. P. 359.

Поступила в редакцию 15.09.2015

CONTENTS

BIOLOGICAL SCIENCES

<i>Bakhmet I. N., Abessa Denis Moledo de Souza, Lucas Moreira Buruaem</i>	CHARACTERISTIC FEATURES OF BIVALVIAS' PHYSIOLOGY INDWELLING DIFFERENT HABITATS	7
<i>Borodulina G. S., Vapirov V. V., Venskovich A. A.</i>	SELENIUM IN UNDERGROUND WATERS OF KARELIA	10
<i>Vizer S. A., Erzhanov K. B., Andreev V. P., Ratnikova I. A.</i>	"GREEN CHEMISTRY" PRINCIPLES' APPLICATION IN PROPARGYLATION OF P-PHENYLENEDIAMINE	15
<i>Vysotskaya R. U., Shklyarevich G. A., Vdovichenko E. A., Divnenko V. Yu.</i>	LYSOSOMAL ENZYMES IN ECOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ADAPTATIONS OF MUSSELS AND AMPHIPODS INHABITING KANDALAKSHA BAY OF THE WHITE SEA	22
<i>Sergienko L. A., Moseev D. S.</i>	TAXONOMIC STRUCTURE AND ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL CHARACTERISTICS OF FLOROCOENOTIC COMPLEX OF THE RUSSIAN ARCTIC COAST	28
<i>Khokhlova T. Yu., Lunina T. L.</i>	BREEDING BIOLOGY AND TERRITORIAL BEHAVIOR OF COMMON SANDPIPER <i>ACTITIS HYPOLEUCOS</i> L. INHABITING THE COAST OF LADOGA LAKE	34
<i>Dzyubuk I. M.</i>	BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE RUFF (<i>GYMNOCEPHALUS CERNUUS</i> (L)) INDWELLING KARELIAN LAKES	37
<i>Kutenkov S. A., Mironov V. L.</i>	PLANT COMMUNITIES AND PEAT DEPOSIT PECULIARITIES OF RAVDUKORBI FLOODPLAIN MIRE	40
<i>Melekhin A. V.</i>	NEW AND RARE RECORDS OF LICHENS FOR MURMANSK REGION	48
<i>Fokina A. I., Ol'kova A. S., Lyalina E. I., Darovskikh L. V.</i>	ON REGULARITIES OF COPPER BIO-ACCUMULATION BY REPRESENTATIVES OF AUTOTROPHIC AND HETEROTROPHIC ORGANISMS	50
MEDICAL SCIENCES		
<i>Bozhchenko A. P., Rigonen V. I.</i>	DERMATOGLYPHIC FEATURES OF RUSSIANS RESIDING IN KARELIAN REPUBLIC	56
<i>Melent'eva A. A., Barysheva O. Yu., Tikhova G. P.</i>	SURVIVAL RATE IMPACT FACTORS IN PATIENTS TREATED BY HEMODIALYSIS FOR CHRONIC KIDNEY DISEASE	60

<i>Tikhonovich E. L., Vezikova N. N., Markelova O. A., Malysheva I. E.</i>	EPIDEMIOLOGY, CLINICAL FEATURES, DIAGNOSTICS AND TREATMENT OF SARCOIDOSIS IN KARELIA	67
<i>Vasendin D. V.</i>	MODERN APPROACHES TO OBESITY TREATMENT (LITERATURE REVIEW)	72
AGRICULTURAL SCIENCES		
<i>Bakhmet O. N., Fedorets N. G.</i>	REFERENCE AND RARE SOILS OF FENNOSCANDIA GREEN BELT	81
<i>Sungurov R. V., Sungurova N. R., Gaevskiy N. P.</i>	EVALUATION OF DIFFERENT METHODS EMPLOYED IN FOREST CROPS' INVENTORY	85
<i>Tyukavina O. N., Churkina Yu. V.</i>	WOOD MOISTURE OF THE ROUGH-BARK POPLAR	89
ENGINEERING SCIENCE		
<i>Orfinskiy V. P., Grishina I. E., Kisternaya M. V., Kozlov V. A.</i>	OUR LADY OF THE SIGN CHAPEL IN KORBA. PROBLEMS OF RESEARCH AND CHRONOLOGICAL ATTRIBUTION	95
<i>Vakhrameeva T. I., Grishina I. E., Kisternaya M. V., Kozlov V. A., Orlov A. V.</i>	CONSTRUCTION HISTORY OF ST. KYRIK AND IULITA CHAPEL IN ZAONEZHJE VILLAGES OF VOROB'I	101
<i>Skobtsov I. G.</i>	OPTIMAL DESIGN OF FOREST MACHINE ELEMENTS BASED ON THE THEORY OF STATISTICAL CATASTROPHE ASSEMBLY	107
<i>Kovaleva N. V.</i>	FAILURE CRITERION SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL DECISIONS IN FOREST ROAD CONSTRUCTION	111
PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES		
<i>Vapirov V. V., Zaytsev D. O.</i>	KINETIC CHARACTERISTICS OF HEXACHLOROCYCLOTRIPHOSPHAZATRIENE AND PYRIDINE N-OXIDE REACTION IN MIXED ORGANIC SOLVENTS IN PRESENCE OF WATER	114
<i>Rogov A. A., Shterfel' I. A.</i>	THE INFLUENCE OF THE SELECTION OF DISTRIBUTION OF GRAPHEME IMAGE DOTS ON SYMBOL RECOGNITION USING THE SHAPE CONTEXT METHOD	118
<i>Shtykov A. S.</i>	THE MEASURING OF THE KINETIC CHARACTERISTICS VALUES OF DUSTY PLASMA USING THE HI-SPEED VIDEO-CAMERA	121