ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

1930
2020

Российская Академия Наук

ТРУДЫ
Кольского научного центра РАН

2/2020 (11)

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ СЕВЕРА

выпуск 8

Апатиты
2020

0+

Российская Академия Наук

0+

2/2020(11)
издается с декабря 2010 г.

УДК 574(470.21)
ISSN 2307-5252

ТРУДЫ
Кольского научного центра

ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ СЕВЕРА
выпуск 8

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8

Научно-информационный журнал
Основан в 2010 году
Выходит 11 раз в год

Учредитель — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС77-58457 от 25.06.2014
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Главный редактор, председатель Редакционного совета
С. В. Кривовичев, чл.-корр. РАН, д. г.-м. н., проф.

Заместитель главного редактора
В. К. Жиров, чл. - корр.

Редакционный совет:
академик Г. Г. Матишов,
чл. - корр. А. И. Николаев,
д. э. н. Ф. Д. Ларичкин
д. т. н. В. А. Путилов,
д. ф. - м. н. Е. Д. Терещенко,
к. т. н. А. С. Карпов (отв. секретарь)

Редколлегия серии
«Прикладная экология Севера»:
д. т. н. В. А. Маслобоев (отв. редактор),
к. б. н. Е. А. Боровичев (зам. отв. редактора),
к. б. н. О. И. Вандыш,
д. г. н. В. А. Даувальтер,
к. б. н. Д. Б. Денисов,
к. б. н. И. В. Зенкова,
к. с.-х. н. Л. Г. Исаева,
к. э. н. Е. М. Ключникова,
к. б. н. М. В. Корнейкова,
к. б. н. Н. Е. Королева,
д. т. н. Д. В. Макаров,
к. б. н. П. М. Терентьев

Научное издание
Ответственные за выпуск:
к. б. н. Е. А. Боровичев, к. б. н. И. В. Зенкова
Технический редактор: В. Ю. Жиганов
Редактор С. А. Шарам
Подписано к печати 25.06.2020.
Дата выхода в свет 02.07.2020.
Формат бумаги 70×108 1/16.
Усл. печ. л. 17.06. Заказ № 23. Тираж 300 экз.
Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии:
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»
184209, г. Апатиты, Мурманская обл., ул. Ферсмана,14
Тел.: (81555) 7-53-50; 79-5-95, факс: (81555) 76425
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru, naukaprint.ru

© Институт проблем промышленной экологии Севера, 2020
© Кольский научный центр Российской академии наук, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
Предисловие……		7
О. В. Ермолаева, Н. Ю. Шмакова	Влияние метеоусловий на годичный прирост *Polytrichum commune* Hedw. (Polytrichaceae, Bryophyta) в лесном поясе Хибин (Мурманская область)……..	9
Т. И. Литвинова, Г. М. Кашулина, Н. М.Коробейникова	Органическое вещество почв катены в окрестностях пос. Баренцбург (Западный Шпицберген)……...	16
Т. П. Другова	Секция *Acutifolia* рода *Sphagnum* (Sphagnaceae, Bryophyta) в гербарии ПАБСИ (KPABG)……..……	24
Н. Р. Кириллова	Разнообразие и распространение водных растений в заповеднике «Пасвик» (Мурманская область)……..	42
С. Б. Селянина, Е. Ю. Чуракова, Г. В. Михайлова, Т. И. Пономарёва	Характеристика растений-гидрофитов и показателей воды в водотоках Приморского заказника в районе добычи алмазов (Архангельская область)……	47
С. Ф. Комулайнен	Фитоперифитон рек Мурманской области: структура и использование при мониторинге	58
В. В. Белкин, В. А. Илюха, Е. А. Хижкин, А. Е. Якимова, Ф. В. Фёдоров, Е. А. Антонова, А. Г. Кижина, Л. Б. Узенбаева, Т. Н. Ильина, И. В. Баишникова	Экологические и физиолого-биохимические адаптации северного кожанка (*Eptesicus nilssonii* L.) как фактор доминирования вида в северных широтах…….	69
С. Н. Калинина, Д. В. Панченко, И. В. Баишникова, Е. П. Антонова, В. А. Илюха, В. В. Шакун, И. А. Зайцева	Антиоксидантный и витаминный статусы кабана *Sus scrofa* L. (*Artiodactyla*) на периферии ареала (Республика Карелия)	83
Н. Л. Соловьевская, П. С. Терещенко	Оценка эффективности БОС-терапии методом газоразрядной визуализации……	92

П. С. Терещенко	Содержание химических элементов в волосах дошкольников и школьников в Мурманской области…….	99
С. Б. Селянина, В. Г. Татаринцева, И. Н. Зубов, Н. А. Кутакова, И. В. Русских	Оптимизация процесса экстракции биологически активных веществ из верхового торфа……..	108
Л. Г. Герасимова, М. В. Маслова, Е. С. Щукина	Повышение комплексности переработки хибинских апатитонефелиновых руд……	116
Р. И. Корнейков, В. И. Иваненко, Н. В. Жаров	Сорбция катионов тяжелых металлов из технологических растворов фосфатотитановыми матрицами……..	124
М. В. Маслова, Н. В. Мудрук, А. И. Иванец, И. Л. Шашкова, Н. В. Китикова	Синтез сорбционных материалов на основе фосфатов титана, кальция и магния……	131
Е. А. Боровичёв, О. В. Петрова	О состоянии памятника природы «Ледниковый валун» (Мурманская область)	141
П. В. Дружинин, Г. Т. Шкиперова, О. В. Поташева	Влияние развития экономики регионов Европейского Севера на окружающую среду	144
Г. Н. Харитонова	Государственное управление лесами в районах АЗРФ: экологическая и экономическая эффективность……..	154
Л. Г. Исаева, Ю. Р. Химич	Оценка состояния зеленых насаждений города Мончегорска (Мурманская области).....	168
Т. А. Мингалёва, А. А. Горячев, Е. И. Мингалёва, А. И. Мингалёв	Социальные и экологические функции общественных парков малого города в условиях Севера (на примере г. Апатиты Мурманской области)……...	179

Russian Academy of Sciences

0+

2/2020(11)
Publishedsince 2010

UDC 574(470.21)
ISSN 2307-5252

TRANSACTIONS
Kola Science Centre

Editor-in-Chief: S. V. Krivovichev,
Corr. Member of the RAS, Prof.

Deputy Editor-in-Chief:
V. K. Zhirov, Cor. Member of RAS

Editorial Council:
G. G. Matishov, Acad. of RAS,
A. I. Nikolaev, Cor. Member of RAS,
F. D. Larichkin, Dr. Sc. (Economics),
V. A. Putilov, Dr. Sc. (Engineering),
E. D. Tereshchenko, Dr. Sc.
(Physics and Mathematics),
A. S. Karpov PhD (Engineering) –
Executive Secretary

APPLIED ECOLOGY OF THE NORTH
Series 8

Editorial Board
of «Applied Ecology of the North» Series:
V. A. Masloboev, Dr. Sc. (Engineering),
Editor-in-Chief,
E. A. Borovichev, PhD (Biology),
Deputy Editor-in-Chief,
O. I. Vandysh, PhD (Biology),
V. A. Dauvalter, PhD (Geographic),
D. B. Denisov, PhD (Biology),
I. V. Zenkova, PhD (Biology),
L. G. Isaeva, PhD (Agriculture),
E. M. Klyuchnikova, PhD (Economics),
M. V. Korneykova, PhD (Biology),
N. E. Koroleva, PhD (Biology),
D. V. Makarov, Dr. Sc. (Engineering),
P. M. Terentjev, PhD (Biology)

Editor-in-Chief of the Issue:
E. A. Borovichev, PhD (Biology),
I. V. Zenkova, PhD (Biology)

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia
Tel.: (81555) 79380. Fax: (81555) 76425
E-mail: admin@admksc.apatity.ru, http://www.ksc.ru

© Institute of North Industrial Ecology Problems
of the Kola Science Centre of RAS, 2020
© Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, 2020

TRANSACTIONS
Kola Science Centre

APPLIED ECOLOGY
OF THE NORTH
Series 8

CONTENTS

Foreword ……		7
O. V. Ermolaeva, N. Yu. Shmakova	The effect of weather conditions on annual increment of *Polytrichum commune* Hedw. (Polytrichaceae, Bryophyta) in the forest belt of the Khibiny Mountains (Murmansk Region)…	9
T. I. Litvinova, G. M. Kashulina, N. M. Korobeynikova	Soil organic matter of katena near the Barentzburg (Western Spitzbergen)….....	16
T. P. Drugova	Section *Acutifolia* of genus *Sphagnum* (Sphagnaceae, Bryphyta) in the herbarium of PABGI (KPABG)……..	24
N. R. Kirillova	Diversity and distribution of aquatic plants in the Pasvik State Nature Reserve (Murmansk Region)…….	42
S. B. Selyanina, E. Yu. Churakova, G. V. Mihajlova, T. I. Ponomareva	Characteristics of aquatic plants and water indicators in the water courses of the Primorsky Sanctuary in the diamond production area (Arkhangelsk Region)…….	47
S. F. Komulaynen	Phytoperiphyton in rivers of Murmansk Region: structure and use in monitoring……	58
V. V. Belkin, V. A. Ilyukha, E. A. Khizhkin, A. E. Yakimova, F. V. Fyodorov, E. P. Antonova, A. G. Kizhina, L. B. Uzenbaeva, T. N. Ilyina, I. V. Baishnikova	Ecological and physiological-biochemical adaptation of the northern bat (*Eptesicus nilssonii* L.) as a factor of the species dominance in northern latitudes……	69
S. N. Kalinina, D. V. Panchenko, I. V. Baishnikova, E. P. Antonova, V. A. Ilyukha, V. V. Shakun, I. A. Zaytseva	Antioxidant and vitamin status of wild boar *Sus scrofa* L. (Artiodactyla) on the range periphery (Republic of Karelia)……...	83
N. L. Solovievskaya, P. S. Tereshchenko	Assessment of efficiency of biofeedback therapy by the GDV method……..	92

P. S. Tereshchenko	Contents of chemical elements in hair of preschool and school children of Murmansk Region……..	99
S. B. Selyanina, V. G. Tatarintseva, I. N. Zubov, N. A. Kutakova, I. V. Russkih	Optimization of biologically active substances extraction from high peat……...	108
L. G. Gerasimova, M. V. Maslova, E. S. Shchukina	Improving complex processing of Khibiny apatite-nepheline ore……..	116
R. I. Korneikov, V. I. Ivanenko, N. V. Zharov	Sorption of heavy metal cations from technological solutions by titanium phosphates matrices……	124
M. V. Maslova, N. V. Mudruk, A. I. Ivanets, I. L. Shashkova, N. V.Kitikova	Sinthesis of sorption materials based on Ti-Ca-Mg phosphates……	131
E. A. Borovichev, O. V. Petrova	About the regional nature monument “Lednikovy Valun” (Murmansk Region)……...	141
P. V. Druzhinin, G. T. Shkiperova, O. V. Potasheva	The impact of economy development of European north regions on the environment…	144
G. N. Kharitonova	State management of forests of the Arctic zone of the Russian Federation: environmental and economic efficiency……	154
L. G. Isaeva, Y. R. Khimich	Assessment of the state of forest planting of the Monchegorsk Town (Murmansk Region)...	168
T. A. Mingaleva, A. A. Goryachev, E. I. Mingaleva, A. I. Mingalev	Social and environmental functions of public parks in a small northern town (on the example of the Apatity Town in the Murmansk Region)…	179

ПРЕДИСЛОВИЕ

Восьмой выпуск «Трудов Кольского научного центра РАН» серии «Прикладная экология Севера» в основном включает статьи, подготовленные по материалам докладов проходившей с 16 по 22 июня 2019 г. в г. Апатиты VII Всероссийской научной конференции с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения», котрая была посвящена 30-летию ИППЭС КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора Вячеслава Васильевича Никонова (1944–2004). Конференция собрала рекордное за период ее проведения количество заявок от более чем 350 авторов из 140 научно-исследовательских институтов, вузов, заповедников и научных станций, отраслевых институтов России и зарубежных стран. Общее число участников составило 208 человек, которые приехали из Мурманской обл. (из них 34 — сотрудники ИППЭС КНЦ РАН), Петрозаводска, Москвы, Санкт-Петербурга, Архангельска, Ханты-Мансийска, Сыктывкара, Твери, Екатеринбурга, Якутска, Магадана и других городов, Ямало-Ненецкого автономного округа, Московской, Ленинградской и Ярославской областей, а также из Финляндии, Норвегии, Франции, Германии, Болгарии, Чили.

За пять дней работы конференции было заслушано 144 устных и обсуждено 35 стендовых докладов. Их тематика охватила разные сферы научных исследований современных экологических проблем в АЗРФ на пленарной и восьми секционных сессиях:

- «Наземные экосистемы под воздействием природных и антропогенных факторов. Актуальные проблемы стационарных исследований» (29 докладов);
- «Современные тенденции изменения водных экосистем Севера» (17 докладов);
- «Изменение климата в Арктике: современное состояние и перспективы» (16 докладов);
- «Изучение и сохранение биоразнообразия таежных и арктических территорий» (27 докладов);
- «Рациональное использование и охрана природных ресурсов. Развитие сети ООПТ на Северо-Западе России» (14 докладов);
- «Геохимия природных сред, технологические аспекты охраны окружающей среды и новые технологии» (17 докладов);
- «Человек в условиях Крайнего Севера: социально-экономические и социокультурные аспекты» (4 доклада);
- «Человек в условиях Крайнего Севера: медицинские и физиологические аспекты» (6 докладов).

Выпуск «Трудов» получился разносторонним и охватил почти все направления конференции. Его открывают работы по изучению компонентов наземных экосистем Севера: почв Шпицбергена, годичного прироста мхов в Хибинах, таксономической ревизии секции Acutifolia рода *Sphagnum* из гербария ПАБСИ. К этому же блоку относится статья об уточнении локализации памятника природы «Ледниковый валун» в окрестностях г. Апатиты. Две статьи содержат результаты исследований физиологических и биохимических особенностей животных на северной периферии ареала — северного кожанка и кабана. Три статьи связаны с изучением растительности северных водоемов — макрофитов

и фитоперифитона. «Медицинский» блок представлен двумя статьями об итогах применения метода газоразрядной визуализации и анализе содержания химических элементов в волосах дошкольников и школьников в Мурманской обл. Четыре статьи обсуждают технологии извлечения биологически активных веществ из верхового торфа и комплексной переработки полезных ископаемых. Одна из работ экономической направленности анализирует влияние развития экономики регионов Европейского Севера на окружающую среду, другая посвящена вопросу государственного управления лесами в Арктической зоне РФ. Завершают номер две статьи, посвященные оценке состояния зеленых насаждений Мончегорска и результатам обследования городских парков г. Апатиты.

В заключение благодарим рецензентов статей, проделавших большую работу: О. Н. Бахмет, О. А. Белкину, Ю. А. Березину, М. А. Бойчук, Е. А. Боровичёва, О. И. Вандыш, Д. А. Давыдова, Д. Б. Денисова, А. А. Емельянову, И. В. Зенкову, Л. В. Иванову, Л. Г. Исаеву, Е. М. Ключникову, М. Н. Кожина, С. Н. Коломейчук, Л. А. Колпащикова, С. Ф. Комулайнена, Н. Е. Королеву, А. В. Коросова, А. В. Кравченко, О. Л. Кузнецова, Ю. П. Курхинена, Д. В. Макарова, А. И. Максимова, М. В. Медведеву, А. В. Пастухова, А. Н. Пеккоева, В. Н. Петрова, А. Н. Солодовникова, Т. А. Сухареву, Г. П. Урбанавичюса.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.001
УДК 581.1

О. В. Ермолаева, Н. Ю. Шмакова
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОУСЛОВИЙ НА ГОДИЧНЫЙ ПРИРОСТ *POLYTRICHUM COMMUNE* HEDW. (POLYTRICHACEAE, BRYOPHYTA) В ЛЕСНОМ ПОЯСЕ ХИБИН (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация

Представлены результаты многолетних наблюдений за годичной продукцией (длина и масса прироста) мха *Polytrichum commune* в Хибинах. Дана характеристика (температурный режим и осадки) вегетационных периодов в годы исследования. Рассчитаны корреляционные связи ростовых процессов с метеопараметрами. Годичный прирост стебля составил в среднем 37 мм и 16 мг сухой массы. Низкие значения массы годичного прироста отмечены в годы, когда количество осадков и дней с их наличием за вегетационный период было меньше 50 % от среднемноголетней нормы и в годы с низкими ресурсами тепла. Сочетание метеофакторов в большей степени отражается на массе прироста, чем на его длине.

Ключевые слова:

Хибины, Polytrichum commune, линейный прирост, накопление фитомассы, метеоусловия вегетационного периода.

Olga V. Ermolaeva, Natalya Yu. Shmakova
N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences

THE EFFECT OF WEATHER CONDITIONS ON ANNUAL INCREMENT OF *POLYTRICHUM COMMUNE* HEDW. (POLYTRICHACEAE, BRYOPHYTA) IN THE FOREST BELT OF THE KHIBINY MOUNTAINS (MURMANSK REGION)

Abstract

The results of long-term observations of annual production (length and weight shoots) of *Polytrichum commune* from the Khibiny Mts are presented. The features (temperature and precipitation) of vegetation periods in study years are given. The correlations between growth processes and weather conditions are calculated. The average annual shoots amounted 37 mm and 16 mg of dry weight. Low values of annual increment mass were observed in growing seasons with the amount of precipitation and days their presence was less than 50 % of the long-term average annual norm and in years with low heat resources. The combination of meteorological factors is more reflected in the weight increment than in the length.

Keywords:

Khibiny Mts, Polytrichum commune, linear increment, phytomass accumulation, weather conditions of the vegetation periods.

Введение

Проблема продуктивности растений в условиях Крайнего Севера остается актуальным направлением исследований в связи с глобальным изменением климата и необходимостью прогноза отклика растительности высоких широт [Longton, 1992; Martin, Adamson, 2001], где ведущая роль принадлежит мохообразным. Мхи — наиболее древняя группа высших растений, встречаются повсеместно вплоть до полярных пустынь и являются доминантами и содоминантами многих растительных сообществ; они играют значительную

роль в накоплении органического вещества и биологическом круговороте экосистем Севера [Longton, 1988]. Благодаря особенностям физиологии и морфологии мхи способны заселять местообитания, где семенные растения произрастать не способны. Мхи чувствительны даже к небольшим изменениям условий среды [Андреева, 1990; Морфолого-анатомическая…, 2001; Growth responses..., 1995; Bharali, Bates, 2004; Soltes, Greguskova, 2013].

Мох *Polytrichum commune* Hedw. (политрихум обыкновенный) в Хибинах встречается в разных растительных поясах, а в лесных сообществах нередко образует микрогруппировки с проективным покрытием 80–100 %. Несмотря на широкое использование *P. commune* в качестве объекта исследований [Watson 1975; Photosynthetic…, 1996; Barsig, Schneider, 1998; Proctor, 2005; Structure..., 2015], сведений об особенностях линейного роста и накопления массы прироста, а также о связи этих процессов с факторами среды недостаточно.

Цель исследования состояла в оценке годичной продукции (линейного прироста и накопления массы) мха *P. commune* в лесных сообществах Хибин и связи этих показателей с метеоусловиями вегетационного периода.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2009, 2012–2018 гг. на заповедной территории ПАБСИ КНЦ РАН в лесном поясе Хибин. Природные условия территории подробно описаны в работе В. А. Костиной с соавторами [2001].

Объект исследования — *Polytrichum commune* [Ignatov et al., 2006], один из наиболее крупных представителей верхоплодных мхов, образует рыхлые или густые темно-зеленые дерновинки. Он часто встречается во влажных, слабо заболоченных лесах, преимущественно ельниках и березняках с черничным или травяным покровом, в долинных тундрах, влажных моховых и мохово-лишайниковых тундрах на средних по минеральному богатству почвах. Годичные приросты гаметофита четко определяются по естественным маркерам по форме и расположению листьев (летние листья крупнее весенних) и по изгибу стебля. Фотосинтетически активными (зелеными) в климатических условиях Хибин остаются, как правило, приросты двух лет [Ермолаева, Шмакова, 2017].

Линейный прирост и его массу определяли на выборке побегов (n = 50–200) по окончании вегетационного периода. После измерения длины (мм) приросты срезали и высушивали в общей навеске, затем рассчитывали средний вес прироста каждого побега (мг).

Измерение температуры воздуха проводили ежесуточно с помощью измерительных комплексов (модель iBDLR-3-U-X) на высоте около 1 м над уровнем мохового покрова в установленные метеорологические сроки. Количество осадков определяли с помощью осадкомеров. За климатическую норму для территории ПАБСИ КНЦ РАН принимали средние многолетние значения, рассчитанные А. П. Семко [1989] за период с 1964 по 1983 гг. Под «ресурсами тепла» понимали сумму активных температур (свыше + 10 °С) за вегетационный период. Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Данные о температурном режиме и количестве осадков за исследованные вегетационные периоды представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика вегетационных периодов
на территории ПАБСИ КНЦ РАН в Хибинах (лесной пояс)

Год	Продолжительность вегетационного периода	Сумма температур*: эффективных/ активных	Среднесуточная температура воздуха за вегетацию, °С	Количество осадков, мм (число дней с осадками)
2009	29.V —28.IX (123 дня)	1033/745	10,3	316 (54)
2012	15.V —22.IX (130 дней)	1295/750	10,4	166 (51)
2013	16.V — 21.IX (129 дней)	1516/1271	12,4	86 (43)
2014	30.V — 18.IX (112 дней)	1351/1038	11,0	147 (46)
2015	26.V — 28.IX (126 дней)	1223/712	10,0	257 (70)
2016	14.V — 2.X (142 дня)	1585/1143	11,6	220 (69)
2017	3.VI — 13.IX (103 дня)	1007/658	9,1	384 (65)
2018	10.V —24.IX (138 дней)	1610/1178	12,1	133 (51)
Средне-многолетняя норма**	2.VI — 14.IX (105 дней)	1100/746	9,1	472

*Эффективные — выше +5 °С; активные — выше +10 °С.
** Приводится по: [Семко, 1989].

Сезон **2009** г. характеризовался относительно прохладной весной, теплой осенью и неравномерным распределением осадков.

В **2012** г. была теплая весна, холодная и ранняя осень, отсутствовали длительные сухие периоды.

В **2013** г. отмечено раннее начало вегетационного периода (с 16 мая), относительно высокие и выровненные весенние и летние температуры и малое количество осадков — всего 86 мм за 43 дня.

Вегетационный период **2014** г. отличался холодной продолжительной весной, жарким летом, холодной осенью и по количеству осадков был «сухим» (147 мм за 46 дней).

2015 г. — холодный, с аномально низкой температурой в июле и почти ежедневными осадками.

Вегетационный период **2016** г. был на 2–4 недели продолжительнее, чем в другие годы, с высокими значениями эффективных и активных температур, близкими к таковым в 2013 г., с прохладной осенью, умеренным количеством выпавших осадков и частымидождями.

Самым холодным и обильным на осадки был **2017** г.

В **2018** г. раннее начало вегетационного периода отмечено с 10 мая, лето было жарким и сухим: средняя температура июля оказалась самой высокой за 6 предыдущих лет наблюдений, за 51 день выпало133 мм осадков.

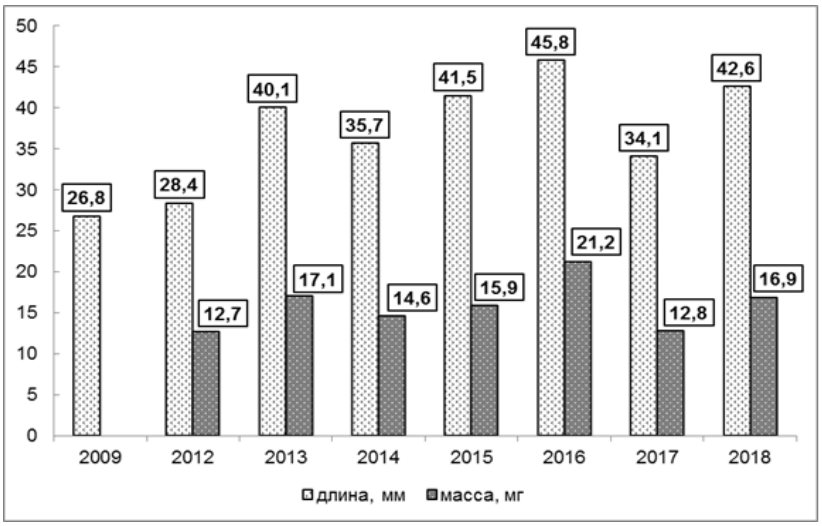
Под термином «вегетационная часть года» понимается отрезок времени в годовом цикле, климатообразующие факторы которого определяют возможность жизнедеятельности растений и животных организмов в естественных условиях и прохождение ими в своем развитии фенологических состояний и биохимических процессов [Исследование..., 2013]. Для *P. commune* отмечено, что ростовые процессы начинаются сразу после схода снега, а возможно, и под снегом [Ermolaeva et al., 2013; Ермолаева, Шмакова, 2017]. Поэтому за начало и конец вегетационного периода принимали время, когда наблюдали устойчивый переход среднесуточных температур воздуха через +5 °С. Это период, когда происходит активное таяние оставшегося снега, под слоем которого образуются «парнички», где и начинается рост мха.

Полученные климатические характеристики сравнили со среднемноголетними значениями для территории ПАБСИ КНЦ РАН. Средняя температура воздуха за вегетацию находилась в диапазоне 10–12,4 °С (за исключением 2017 г.) и была выше средней многолетней. Высокими ресурсами тепла характеризовались 2013, 2016 и 2018 гг.: суммы активных температур были выше среднемноголетних примерно на 450 °С. Низкой сумма активных температур за сезон оказалась в 2017 г. — 658 °С, что на 88 °С меньше многолетних данных для территории Ботанического сада. Сумма эффективных температур в годы наблюдений была выше многолетней (за исключением 2009 и 2017 гг.). Значительно различались годы и по количеству осадков: от 86 мм в 2013 г. до 384 мм в 2017 г.

В среднем за годы исследования продолжительность вегетационного периода в Ботаническом саду, в лесном поясе, составила 125 дней. По среднемноголетним данным [Семко, 1989] в Хибинах этот период длился 105 дней. В ряду лет наблюдений особенно выделялся 2017 г. с самой короткой вегетацией — 103 дня. В этот год полное освобождение лесного пояса от снега на территории Ботанического сада наблюдали лишь в 3-й декаде июня. Самый продолжительный вегетационный период (в среднем 140 дней) был в 2016 и 2018 гг.

Таким образом, оптимальный температурный режим с достаточным увлажнением и продолжительным вегетационным периодом был в 2016 г., менее благоприятными по сочетанию метеофакторов были теплый и засушливый 2013-й и холодные 2009, 2012 и 2015 гг. В аномально холодный 2017 г. все климатические показатели были ниже среднемноголетних данных.

Показатели длины и массы годичного прироста *P. commune* за 2009, 2012–2018 гг. варьировали по годам наблюдений (рис.). Размах вариации длины и массы приростов составил около 40 %, что указывает на довольно большой разброс значений годичной продукции. При этом удельный вес прироста (отношение массы прироста к его длине) варьировал в меньших пределах — 0,38–0,46. Наименьшая масса 1 мм годичного прироста была в холодные 2015 и 2017 гг. (табл. 2). Неблагоприятный температурный режим этих вегетационных периодов не позволил *P. commune* реализовать ростовой потенциал, а обилие дней с осадками, скорее всего, усугубило действие низких температур. Низкие значения удельного веса (0,40–0,41) отмечены в годы, когда за вегетационный период количество осадков и дней с их наличием было меньше 50 % от среднемноголетней нормы. В 2012 г., несмотря на то, что длина и масса годичного прироста были наименьшими, его удельный вес оказался высоким (0,45). Наибольший годичный прирост отмечен в 2016 г., благоприятном по сочетанию метеофакторов.



Длина и масса годичного прироста *Polytrichum commune* в лесном поясе Хибин

Согласно имеющимся данным о продолжительности вегетационного периода и показателях годичного прироста была рассчитана суточная скорость удлинения и увеличения массы побега (табл. 2). Среднесуточная скорость удлинения побега (за годы наблюдений) составила 0,295 мм, нарастания массы — 0,126 мг. Вероятно, зная продолжительность вегетационного периода, расчетные величины среднесуточной скорости удлинения и нарастания побегов, можем оценить величину предполагаемой годичной продукции *P. commune.* По нашим данным, годичный прирост *P. commune* составил в среднем 37 мм и 16 мг сухой массы.

Таблица 2

Удельные и относительные показатели
годичного прироста *Polytrichum commune*

Показатель	2009 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.
M/L	–	0,45	0,43	0,41	0,38	0,46	0,38	0,40
L/сут	0,22	0,22	0,31	0,32	0,33	0,32	0,33	0,31
M/сут	–	0,10	0,13	0,13	0,13	0,15	0,12	0,12

Примечание: M/L — увеличение массы по отношению к длине (удельный вес прироста); L/сут — суточная скорость удлинения побега, мм; M/сут — суточная скорость нарастания массы побега, мг.

Для оценки влияния метеоусловий вегетационного периода на годичный прирост мха *P. commune* были рассчитаны коэффициенты парной корреляции (табл. 3). Достоверная положительная корреляция установлена с суммами эффективных и активных температур. Выявлена сильная положительная связь массы годичного прироста с продолжительностью вегетационного периода. Статистическая обработка многолетних данных показала, что условия вегетационного сезона сильнее влияют на массу годичного прироста *P. commune,* чем на его длину.

Таблица 3

Корреляционные связи показателей роста мха *Polytrichum commune* и метеорологических факторов

Метеофакторы	Длина	Масса
Сумма эффективных температур	0,73*	0,77*
Сумма активных температур	0,63*	0,69*
Среднесуточная температура за вегетацию	0,54	0,66
Продолжительность вегетационного периода	0,48	0,72*
Количество дней с осадками	0,32	0,25
Количество осадков	–0,34	–0,28

*Связь достоверна при $p < 0,05$.

Мхи — группа растений, которая особенно зависит от обеспеченности водой. В периоды, когда содержание воды в тканях становится минимальным, ростовые и физиологические процессы затормаживаются. В случае с *P. commune* отсутствие корреляционной связи с осадками объясняется тем, что это эндогидрильный вид [Schofield, 1985; Proctor, 2000], способный длительно удерживать воду в тканях благодаря анатомо-морфологическим особенностям (многослойность листа, наличие восковой кутикулы, подвижность и скручивание листьев). Даже при длительном отсутствии осадков содержание воды в тканях *P. commune* не опускается ниже 40 %, в то время как у эктогидрильных видов (*Hylocomium splendens, Pleurozium schreberi*) — до 10–15 % [Ermolaeva et al., 2013]. Для мхов, не способных к поддержанию водного режима, связь ростовых процессов с осадками была выявлена, но сила и направленность этой связи зависела от периода вегетации: положительная — летом, отрицательная — осенью [Ермолаева, Шмакова, 2016]. Годичная продукция мха *H. splendens* в Хибинах, по сравнению с *P. commune*, была меньше: длина — в 1,3, масса — в 2 раза.

Таким образом, годичный прирост *Polytrichum commune* в лесном поясе Хибин составляет в среднем 37 мм (16 мг сухой массы). Низкие значения массы годичного прироста отмечены, когда количество осадков и дней с их наличием за вегетационный период было меньше 50 % от среднемноголетней нормы и в годы с низкими ресурсами тепла. Сочетание метеофакторов больше отражается на массе прироста, чем на длине. Накопление фитомассы и изменение длины прироста взаимосвязаны, но фитомасса — более информативный показатель продуктивности. В моновидовых микрогруппировках при расчете на площадь сообщества годичная продукция *P. commune* составила в среднем 90 г/м^2.

Литература

Андреева Е. Н. Анатомо-морфологические аспекты реакции мхов на загрязнение // Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: Наука, 1990. С. 131–133.

Ермолаева О. В., Шмакова Н. Ю. Рост и накопление массы *Hylocomium splendens* в лесном поясе Хибин // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2016. № 8 (161). С. 40–45.

Ермолаева О. В., Шмакова Н. Ю. Рост и накопление массы *Polytrichum commune* в лесном поясе Хибин // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 6 (167). С. 38–44.

Исследование климатических сезонов года и их влияние на живые компоненты болотного биогеоценоза (на примере олиготрофного болота подтаежной подзоны Западно-Сибирской равнины) / И. В. Курьина [и др.] // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 376. С. 182–191.

Костина В. А., Белкина О. А, Константинова Н. А. Краткий очерк природных условий // Мохообразные и сосудистые растения территории Полярно-альпийского ботанического сада. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. С. 8−15.

Семко А. П. Режим тепла и влаги для роста и развития дикорастущих и интродуцированных растений в центральной части Кольского полуострова. Апатиты: КФ АН СССР, 1989. 30 с.

Морфолого-анатомическая характеристика *Hylocomium splendens* (Hylocomiaceae, Musci) — индикатора загрязнения лесов Карельского перешейка / О. В. Яковлева [и др.] // Ботан. журн. 2001. Т. 86. № 8. С. 52–62.

Barsig M., Schneider K. Effects of UV-B radiation on fine structure, carbohydrates and pigments in *Polytrichum commune* // Bryologist. 1998. Vol. 101 (3). P. 357–365.

Bharali B., Bates J. W. Influences of extracellular calcium and iron on membrane sensitivity to bisulphate in the mosses *Pleurozium schreberi* and *Rhytidiadelphus triquetrus* // J. Bryology. 2004. Vol. 26. P. 53–59.

Ermolaeva O. V., Shmakova N. Yu., Lukyanova L. M. Of the growth of *Polytrichum*, *Pleurozium* and *Hylocomium* in the forest belt of the Khibiny Mountains // Arctoa. 2013. Vol. 22. P. 7−14.

Growth responses of *Polytrichum commune* and *Hylocomium splendens* to simulated environmental change in the sub-arctic / J. A. Potter [et al.] // New Phytol. 1995. Vol. 131. P. 533–541.

Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.

Longton R. E. Biology of polar bryophytes and lichens. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1988. 391 p.

Longton R. E. The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems // Bryophytes and Lichens in a Changing Environment / J. W. Bates, A. M. Farmer (eds.). Oxford: Clarendon Press, 1992. P. 32–76.

Martin C. E., Adamson V. J. Photosynthetic capacity of mosses relative to vascular plants // J. Bryology. 2001. Vol. 23. P. 319–323.

Photosynthetic function of leaf lamellae in *Polytrichum commune* / R. J. Thomas [et al.] // Bryologist. 1996. Vol. 99. P. 6–11.

Proctor M. C. F. Physiological Ecology // Bryophyte Biology / A. J. Shaw, B. Goffinet (eds.). Cambridge: Cambridge Univ. Press., 2000. P. 225–247.

Proctor M. C. F. Why do Polytrichaceae have lamellae? // J. Bryology. 2005. Vol. 27. P. 221–229.

Schofield W. B. Introduction to bryology. Department of Botany. University of British Columbia // Physiology. 1985. Vol. 24. P. 309–329.

Soltes R., Greguskova E. Accumulation characteristics of some elements in the moss *Polytrichum commune* (Bryophytes) based on XRF spectrometry // J. Environmental Protection. 2013. Vol. 4. P. 522–528.

Structure and functional proporties of the orthotropic and the plagiotropic shoots of *Climacium dendroides* and *Polytrichum commune* (Bryophyta) / S. P. Maslova [et al.] // Arctoa. 2015. Vol. 24. P. 452–458.

Watson M. A. Annual periodicity of incremental growth in the moss *Polytrichum commune* // Bryologist. 1975. Vol. 78. P. 414–422.

Сведения об авторах

Ермолаева Ольга Владимировна
кандидат биологических наук, научный сотрудник Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Кировск; e-mail: olia.ermolik@yandex.ru
Шмакова Наталья Юрьевна
доктор биологических наук, главный научный сотрудник Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Кировск;
e-mail: shmanatalya@yandex.ru

Olga V. Ermolaeva
PhD (Biology), Researcherat the N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the KSC of the RAS, Kirovsk; e-mail: olia.ermolik@yandex.ru
Natalya Yu. Shmakova
Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher at the N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the KSC of the RAS, Kirovsk; e-mail: shmanatalya@yandex.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.002
УДК 631.48

Т. И. Литвинова, Г. М. Кашулина, Н. М. Коробейникова
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ КАТЕНЫ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПОС. БАРЕНЦБУРГ (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Аннотация

Представлены результаты исследования профильного распределения содержания и состава органического вещества в серогумусовых почвах по катене в условиях арктической зоны. Показано, что в горизонте О гумус представлен гуматно-фульватным типом, в минеральном серогумусовом горизонте (AYao) — фульватно-гуматным и гуматным. Для органогенного горизонта характерна относительно высокая для этих широт степень гумификации органического вещества, для серогумусового — относительно высокое содержание гумуса. Полученные данные способствуют более полному пониманию генезиса органопрофилей почв арктической зоны.

Ключевые слова:
органическое вещество, арктические серогумусовые почвы, катена, Шпицберген.

Tatyana I. Litvinova, Galina M. Kashulina, Natalia M. Korobeynikova
N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences

SOIL ORGANIC MATTER OF KATENA NEAR THE BARENTZBURG (WESTERN SPITSBERGEN)

Abstract

The results of the study of the profile distribution of the content and composition of organic matter in gray-humus soils over catena in the Arctic zone are presented. It was shown that in the O horizon, humus is represented by the humate-fulvate type, while in the mineral

gray-humus horizon (AYao), it is represented by the fulvate-humate and humate. The organogenic horizon is characterized by a rather high degree of humification of organic matter for these latitudes, and a relatively high humus content for the gray-humus horizon. The data obtained contribute to a more complete understanding of the genesis of soil organic profiles in the Arctic zone.
Keywords:
Svalbard, umbrisols, catena, organic matter, content and composition.

Введение

Шпицберген — арктический архипелаг, расположенный на западе Евразийского суббасейна Северного Ледовитого океана, омывается водами теплого течения Гольфстрим, который оказывает существенное влияние на климат и ледовую обстановку в районе архипелага. Наиболее распространенными элементами ландшафта на побережьях фьордов острова Западный Шпицберген являются серии морских террас, расположенные выше коренные террасы, а также склоны разной крутизны [Лаврушин, 1969].

Цель работы — изучение особенностей профильного распределения содержания и состава органического вещества (ОВ) в серогумусовых грубогумусных почвах (Umbrisols), сформированных на разных высотных отметках катены около пос. Баренцбург.

Материалы и методы

Объект исследований — почвы, сформировавшиеся на разных высотах по геоморфологическому профилю горного хребта Гренфьорда в окрестностях пос. Баренцбург. На каждой стационарной площадке (СП) закладывали почвенные разрезы. Местоположение обследованных разрезов представлено в табл. 1. Номера разрезов соответствуют их высотным отметкам на катене.

Таблица 1

Местоположение и характеристика разрезов

Номер разреза	Координаты	Рельеф	Почвообразующая порода	Растительный покров
92	78°03'30.5"с. ш. 14°13'23.4"в. д.	Пологий солифлюкционный склон западной экспозиции	Элюво-делювиальный средний суглинок	Ивково-травяно-моховое сообщество
141	78°03'33.4" с. ш. 14°13'50.8" в. д.	Вторая морская терраса, сухое место	Легкий суглинок каменистый	Ивково-моховое сообщество
148	78°03'34" с. ш. 14°13'48" в. д.	Вторая морская терраса, пологий склон, увлажненное место	Легкий суглинок каменистый	Ивково-лишайниково-моховое сообщество
252	78°03'41.8" с. ш. 14°14'25.6" в. д.	Вершина горного хребта	Элюво-делювий сильнощебнистый	Ивково-моховое сообщество, фрагментарный
244	78°03'40.4" с. ш. 14°14'41.2" в. д.	Крутой склон восточной экспозиции	Элюво-делювий сильнощебнистый	Мохово-лишайниковый, фрагментарный

В полевых условиях проводили морфологическое описание разрезов и отбирали образцы почвы из основных генетических горизонтов. Подготовку проб и химический анализ образцов выполняли в лаборатории почвоведения ПАБСИ КНЦ РАН. Химический анализ фракции < 1 мм воздушно-сухих образцов почвы включал определение общего содержания $C_{орг}$ по Тюрину, $N_{орг}$ по Кьельдалю, группового и фракционного состава ОВ по методу Тюрина в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [Аринушкина, 1970; Агрохимические методы…, 1975]. При определении типа почв и индексов горизонтов придерживались классификации 2004 г. [Классификация…, 2004].

Результаты и обсуждение

Профили почв на разных высотных отметках катены имели сходную структуру генетических горизонтов O-AYao-AYaoC-C (табл. 2). Почва диагностирована как арктотундровая серогумусовая грубогумусная [Классификация…, 2004]. В соответствии с международной реферативной базой почв WRB (IUSS Working…, 2015), изучаемые почвы — Umbrisols.

Таблица 2

Химические свойства исследованных почв, сформировавшихся на профиле катены о. Западный Шпицберген

Горизонт	Глубина, см	$C_{орг}$, %	$N_{орг}$, %	C:N	НО, %	Сгк/Сфк
Разрез 92						
O1	0–0,5 (1)	26,1	0,65	40	34	0,6
O2	0,5 (1)–3	21,0	0,72	29	28	0,3
O3	3–4	18,2	0,97	19	28	1,2
Oh	4–5,5	17,7	0,80	22	24	0,7
AYao	5,5–12,5	2,7	0,15	18	57	0,9
AYaoC1	12,5–21	1,6	0,11	14	14	1,7
AYaoC2	21–30	1,4	0,10	14	14	2,1
AYaoC3	>30	1,5	0,09	16	16	1,4
Разрез 141						
O	0–1 (1,5)	26,9	1,12	24	39	1,0
Oh	1(1,5)–3 (4)	23,1	0,87	27	32	0,4
AYao	3–12	2,9	0,23	12	24	1,6
AYaoC1	12–20	2,1	0,14	15	27	2,2
AYaoC2	20–30	1,8	0,11	17	32	1,3
AYaoC3	>30	1,5	0,13	12	19	4,4
Разрез 148						
O1	0–1 (2)	26,9	0,95	28	44	1,1
O2	1 (2)–3 (4)	26,0	0,83	31	38	1,1
Oh	3 (4)–4 (5)	19,7	0,83	24	51	1,4
AYao	4 (5)–8,5	2,8	0,17	17	58	1,6
AYaoC1	8,5–16,5	1,8	0,10	18	41	4,6
AYaoC2	16,5–26,5	1,0	0,09	11	16	1,7
AYaoC2	>26,5	0,8	0,13	6	19	2,1

Окончание таблицы 2

Горизонт	Глубина, см	$C_{орг}$, %	$N_{орг}$, %	C:N	НО, %	Сгк/Сфк
Разрез 252						
O	0–0,5 (1)	21,3	0,97	22	20	0,5
Oh	0,5 (1)–1,5 (2)	15,3	0,66	23	27	0,5
AYao1	1,5 (2)–2 (5)	2,7	0,24	11	31	1,2
AYao2	2 (5)–6 (8)	1,9	0,12	16	21	1,2
AYaoC1	6 (8)–14	1,2	0,09	13	26	6,9
AYaoC2	14–21 (25)	0,9	0,04	23	11	3,8
AYaoC3	21 (25)–32	1,1	0,06	20	12	3,4
AYaoC4	32–42	1,0	0,07	14	10	1,3
Разрез 244						
O	0–1(2)	23,0	0,54	43	48	1,0
AYao	1 (2)–5 (7)	2,0	0,08	24	41	2,3
AYaoC1	5 (7)–16	0,7	0,07	10	20	1,2
AYaoC2	>16	0,9	0,11	9	11	4,4

Примечание. $C_{орг}$ — органический углерод; $N_{орг}$ — органический азот; C:N — соотношение углерода к азоту; НО — негидролизуемый остаток; Сгк/Сфк — соотношение гуминовых и фульвокислот.

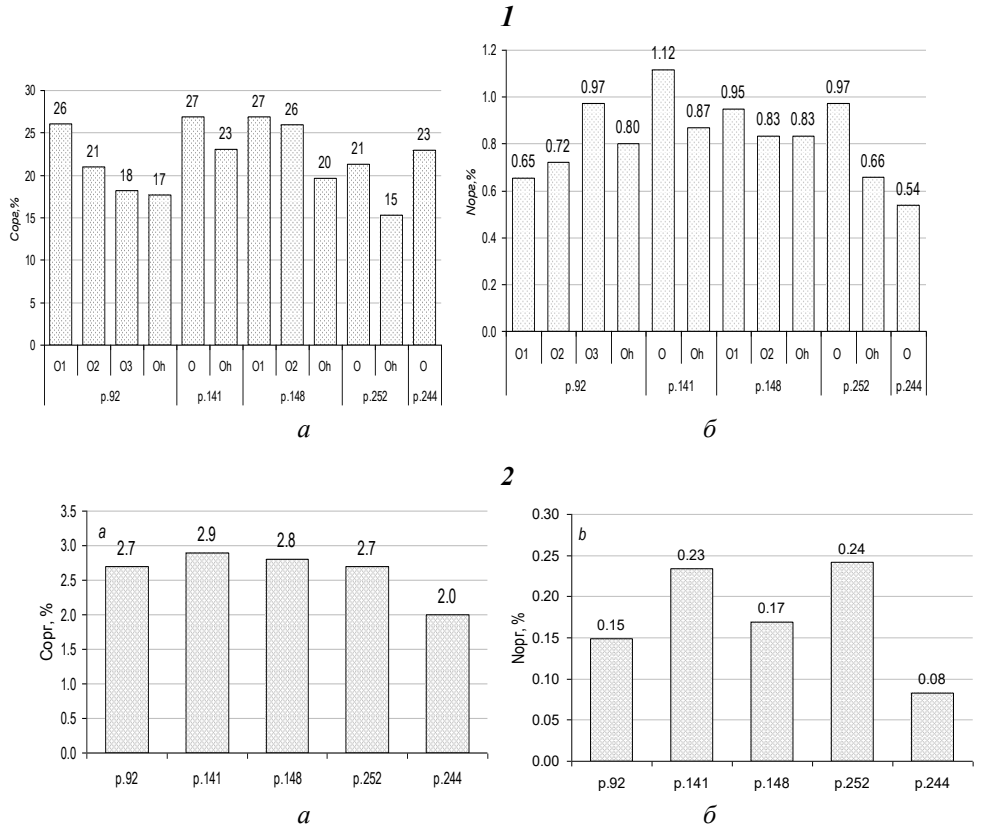
Органогенный подстилочно-торфянистый горизонт (O) представлял собой смесь растительных остатков с различной степенью разложения, которая увеличивалась с глубиной. При отборе образцов горизонт O, в зависимости от степени разложения ОВ, разделяли на подгоризонты: O1, O2, O3 и Oh. Минеральная часть профиля была значительно прокрашена органическим веществом и слабо дифференцирована по цвету. Для нее характерно обилие и глубокое проникновение корней растений. Верхний минеральный серогумусовый грубогумусный горизонт (AYao) — серовато-коричневый, супесчаный (разрез 244) или легкосуглинистый (остальные разрезы), густо переплетен корнями растений. Значительное участие корней травянистых растений в формировании верхнего минерального горизонта дало основание диагностировать его как серогумусовый (AYao). Горизонты на глубине 20–40 см с содержанием $C_{орг}$ менее 2 % диагностировали как переходные к почвообразующему материалу (AYaoC). Они имели коричневато-серую окраску и были представлены каменистым суглинком. Из-за высокой каменистости почвы вскрывали только верхнюю часть профиля, включая верхнюю часть переходного горизонта.

Распределение $C_{орг}$ *по профилю почв.* Распределение содержания ОВ по профилю обследованных разрезов имеет аккумулятивный характер (табл. 2). Наиболее высокое содержание ОВ свойственно верхнему органогенному горизонту (O). В минеральной части профиля всех разрезов наибольшая концентрация $C_{орг}$ приурочена к верхней части — серогумусовому грубогумусному горизонту (AYao), в которой сосредоточена основная масса корней растений. Далее с глубиной содержание ОВ постепенно снижается, однако его значительное количество отмечено в самых нижних горизонтах разрезов до глубины 30–40 см.

Спецификой обследованных почв является относительно низкое содержание ОВ в органогенном горизонте почв, что согласуется с данными

других исследователей [Переверзев, 2012, с. 6; Литвинова, Кашулина, 2015]. По мнению Г. М. Кашулиной [Кашулина, 2006, Комплексные..., 2017], причиной низкого содержания ОВ в органогенных горизонтах обследованных почв является высокая доля минеральных частиц, что обусловлено как высоким содержанием минеральной примеси на растениях, являющихся основными поставщиками опада, мхах и кустарничках, так и непосредственным поступлением в почву минеральных частиц эолового происхождения.

Содержание $C_{орг}$ в подгоризонте О1 варьировало от 21,3 до 26,9 % (табл. 2, рис. *1а*). Наиболее низкие концентрации $C_{орг}$ в горизонте О были свойственны разрезам на самых высоких отметках катены (разрезы 252 и 244), где распределение растений было фрагментарным.



Распределение органического углерода (*а*) и органического азота (*б*) в горизонтах исследованных почв: *1* — подстилочно-торфяный (О); *2* — серогумусовый грубогумусный (AYao)

В минеральной части профиля наиболее высокое содержание органического углерода характерно для верхнего серогумусового грубогумусного горизонта (AYao). Концентрация $C_{орг}$ в этом горизонте варьировала от 2 % на гребне хребта (разрез 252) до 2–9 % на второй морской террасе (разрез 141) (табл. 2, рис. *2а*). С глубиной содержание ОВ снижалось, однако и в самых нижних горизонтах оно было относительно высокое. Так,

в образцах, отобранных на глубине 30–40 см, содержание $C_{орг}$ варьировало от 1,5 % в нижней (разрез 92) и средней частях катены (разрез 141) до 1 % на вершине хребта (разрез 252) (табл. 2).

Распределение $N_{орг}$ *по профилю почв.*

Исследованные почвы слабо обеспечены общим азотом: диапазон его содержания варьировал от 0,04 % в горизонте AYaoC2 в верхней точке катены (разрез 252) до 1,12 % в горизонте О на морской террасе в средней части катены (разрез 141). Преобладающая часть почвенного азота находится в составе ОВ, главным образом в форме гумусовых веществ [Кононова, 1963], поэтому распределение азота по профилю обследованных почв имеет аккумулятивный характер, как и распределение $C_{орг}$. Наиболее высокие содержания $N_{орг}$ по профилю почв свойственны органогенному горизонту (О). Разделение органогенной части на подгоризонты показало, что, несмотря на увеличение степени разложения ОВ, концентрация $N_{орг}$, как и $C_{орг}$, в большинстве обследованных почв уменьшалась с глубиной (табл. 2, рис. *1б*).

В минеральной части профиля наиболее высокое содержание $N_{орг}$ приурочено к его верхней части — серогумусовому горизонту (AYao), при этом оно в 3,5 раза ниже, чем в органогенном, и варьирует от 0,08 % в почве на противоположном склоне хребта на высоте 244 м н.у.м. до 0,24 % на вершине катены на 252 м (табл. 2, рис. *1б*). Содержание $N_{орг}$, как и $C_{орг}$, в обследованных разрезах постепенно снижалось с глубиной. Однако концентрации $N_{орг}$ (до 0,1–3 %) фиксировались и в самых нижних горизонтах почвенного профиля на глубине 30–40 см (табл. 2).

Соотношение C:N *в почвах.* Как известно, это соотношение характеризует обогащенность органического вещества почв азотом, варьирует в зависимости от типа почв и является важным показателем плодородия [Пономарева, 1980; Никонов и др., 1989]. Соотношение C:N в обследованных почвах было довольно широким (табл. 2), особенно в органогенном горизонте (О), что свидетельствует о недостаточном содержании азота в ОВ почв. Одной из причин широкого отношения C:N в обследованных почвах может быть низкое содержание азота в растениях. Согласно К. Н. Манакову [1972], растения тундровых фитоценозов бедны азотом, следовательно, и растительный опад, составляющий основу органогенного горизонта почв, также содержит небольшое количество азота.

В горизонте О обследованных почв соотношение C:N варьировало от 22 до 43. Зависимости величины соотношения C:N от высоты н.у.м. не обнаружено: наиболее широкие значения отмечены как в самой нижней точке катены — разрез 92 (C:N = 40), так и в почве на противоположном склоне (C:N = 43). В почвах на второй морской террасе (разрезы 141, 148) и в нижней точке катены (разрез 92) отмечено относительное обогащение ОВ азотом в пределах органогенного горизонта (О) по мере увеличения степени его разложения. В почве на вершине хребта (разрез 252) обогащения ОВ азотом с глубиной в пределах горизонта О не наблюдалось.

В минеральных горизонтах, где в составе гумуса преобладают гумусовые кислоты, соотношение C:N в большинстве разрезов было более узким, то есть обогащенность ОВ азотом была более высокой по сравнению с органогенным горизонтом. В верхнем минеральном горизонте (AYao) соотношение C:N варьировало от 11 в почве на вершине хребта (разрез 252) до 24 в почве на противоположном склоне (разрез 244). Зависимости данного показателя в горизонте AYao от высоты над уровнем моря также не обнаружено.

Распределение минимумов и максимумов соотношения C:N в большинстве разрезов не является регулярным в пределах профиля. Во многом, как нам кажется, это связано со сменой гранулометрического состава в профиле исследованных почв. Ранее отмечалось, что характерной особенностью мелкозема почв в окрестностях пос. Баренцбург является значительное варьирование содержания большинства фракций в пределах почвенного профиля [Литвинова, Кашулина, 2015].

Состав гумуса зависит от типа почв и является важным диагностическим показателем типа гумуса. Степень гумификации органического вещества в почве характеризует доля негидролизуемого остатка (НО) [Пономарева и др., 1980]. Как показали результаты (табл. 2), несмотря на высокоширотное положение местности, ОВ в органогенном горизонте (О) обследованных почв характеризуется достаточно высокой степенью гумификации. Доля негидролизуемого остатка (НО) варьировала от 20 % в почве на самой высокой точке катены (разрез 252) до 48 % в почвенном разрезе на противоположном склоне хребта. Для сравнения: в органогенном горизонте подзолов Кольского п-ова доля негидролизуемого остатка выше — от 32 до 58 % [Переверзев, 2004]. Низкая скорость трансформации растительных остатков на Кольском п-ове обусловлена их ботаническим составом: основными поставщиками опада являются зеленые мхи, лишайники и хвойные деревья.

Характерной чертой обследованных почв является равная или большая доля негидролизуемого остатка в верхних минеральных горизонтах (AYao) по сравнению с органогенным горизонтом. Это, вероятно, связано с замедлением процессов трансформации корневого опада из-за низких температур почв. В переходной части профиля (AYaoC) распределение доли негидролизуемого остатка в составе гумуса нерегулярное. Наибольшая степень гумификации ОВ в нижней части профиля отмечена в почвах, расположенных на самых верхних точках катены (разрезы 252 и 244).

В отличие от подзолов Севера европейской части России, где в составе гумуса подстилок преобладают менее подвижные гуминовые кислоты [Таргульян, 1971; Переверзев, 2004], в органогенном горизонте (О) обследованных почв, наоборот, преобладали фульвокислоты. Органогенный горизонт (О) характеризовался гуматно-фульватным составом гумуса при варьировании соотношения Сгк:Сфк — от 0,5 в почве на вершине хребта (разрез 252) до 1,1 в почве, сформировавшейся во влажных условиях на второй морской террасе (разрез 148). Соотношение Сгк:Сфк в большинстве исследованных разрезов возрастало с глубиной. Так, уже в минеральном горизонте (AYao) отмечалось преобладание гуминовых кислот: тип гумуса варьировал от гуматно-фульватного до гуматного. В нижней части профиля выявлено высокое варьирование соотношения Сгк:Сфк как в пределах разреза, так и между разрезами. Вероятно, это так же связано со сменой гранулометрического состава. Значительное преобладание гуминовых кислот над фульвокислотами в составе гумуса в переходном минеральном горизонте (AYaoC) отмечено во всех разрезах. Соотношение Сгк:Сфк в этом подгоризонте варьировало от 2,1 в почве в самой нижней точке катены (разрез 92) до 6,9 в почве на вершине хребта (разрез 252). Высокое изменение соотношения Сгк:Сфк как в пределах разреза, так и в аналогичных горизонтах между разрезами было характерно для состава гумуса всех обследованных арктотундровых серогумусовых грубогумусных почв. Такое варьирование состава гумуса

является довольно необычным. Согласно В. В. Пономаревой с соавторами [1980], состав гумуса и его профильное распределение обусловлено типом почв и варьирует в достаточно узком диапазоне в пределах одного типа почв.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлено, что в автоморфных условиях на рыхлых четвертичных отложениях под тундровой растительностью сформировались почвы, относящиеся к типу серогумусовых грубогумусных почв с профилем O-AYao-AYaoC-C. Для них характерны следующие особенности распределения органического вещества по профилю: аккумулятивный тип распределения $C_{орг}$ и $N_{орг}$; относительно низкие концентрации $C_{орг}$ в органогенном горизонте из-за высокой доли примеси минеральных частиц (наследование с опадом, эоловый привнос); относительно высокое для таких широт содержание органического вещества в диагностическом серогумусовом горизонте (AYao).

Исследования также показали, что в органогенном горизонте (O) степень гумификации органического вещества выше, чем в верхнем минеральном AYao. Последнее, возможно, связано с замедлением процессов трансформации корневого опада из-за низких температур почв. В составе органического вещества в органогенном горизонте (O) преобладают фульвокислоты, в минеральной части профиля — гуминовые кислоты.

Исследования не выявили зависимости содержания и состава органического вещества в почвах от высоты над уровнем моря. На распределение содержания и состава органического вещества большое влияние оказывают эоловый привнос пыли, гранулометрический состав почвы, состав и распределение растительности в напочвенном покрове.

Работа выполнена в рамках государственного задания ПАБСИ КНЦ РАН «Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген».

Литература

Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.

Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Комплексные биогеохимические исследования окружающей среды на острове Зап. Шпицберген / Г. М. Кашулина [и др.] // Вестник КНЦ. 2017. Вып. 4. С. 75–80.

Кононова М. М. Органическое вещество почв, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 316 с.

Лаврушин Ю. А. Четвертичные отложения Шпицбергена. М.: Наука, 1969. 181 с.

Литвинова Т. И., Кашулина Г. М. Органическое вещество почв побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты: КНЦ РАН, 2015. 122 с.

Манаков К. Н. Продуктивность и биологический круговорот в тундровых биогеоценозах Кольского полуострова. Л.: Наука, 1972. 148 с.

Никонов В. В., Переверзев В. Н. Почвообразование в Кольской Субарктике. Л.: Наука, 1989. 168 с.

Переверзев В. Н. Лесные почвы Кольского полуострова. М.: Наука, 2004. 232 с.

Переверзев В. Н. Почвы побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты, 2012. 122 с.

Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 190 с.

Таргульян В. О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 268 с.

IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2014, update 2015: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // Word Soil Resources Report 106. FAO. Rome. 2015.

Сведения об авторах

Литвинова Татьяна Ивановна
младший научный сотрудник лаборатории почвоведения
Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,
Апатиты; e-mail: lita_0409@mail.ru
Кашулина Галина Михайловна
доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории почвоведения
Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,
Апатиты; e-mail: galina.kashulina@gmail.com
Коробейникова Наталья Михайловна
младший научный сотрудник лаборатории почвоведения Полярно-альпийского
ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты

Tatyana I. Litvinova
Junior Researcher of the N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute,
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity; e-mail: lita_0409@mail.ru
Galina M. Kashulina
Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher of the N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity;
e-mail: galina.kashulina@gmail. com
Natalia M. Korobeynikova
Junior Researcher of the N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute,
Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.003
УДК 582.34 (470.21)

Т. П. Другова
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук

СЕКЦИЯ *ACUTIFOLIA* РОДА *SPHAGNUM* (SPHAGNACEAE, BRYOPHYTA) В ГЕРБАРИИ ПАБСИ (KPABG)

Аннотация

Проведена ревизия видов рода *Sphagnum* секция *Acutifolia* из Мурманской обл., хранящихся в гербарии ПАБСИ КНЦ РАН (KPABG). Приведены ключи и признаки, дифференцирующие близкие таксоны, их распространение, экология и иллюстрации. Секция *Acutifolia* включает 9 видов в Мурманской обл.

Ключевые слова:
Sphagnum, секция Acutifolia, таксономия, фитогеография, Мурманская обл., гербарий ПАБСИ.

T. P. Drugova
N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences

SECTION *ACUTIFOLIA* OF GENUS *SPHAGNUM* (SPHAGNACEAE, BRYOPHYTA) IN THE HERBARIUM OF PABGI (KPABG)

Abstract

The section *Acutifolia* of the genus *Sphagnum* is revised in Murmansk Region in the herbarium of KPABG. Key for identification of species, differentiation from similar species, distribution, ecology and illustrations are provided. Section *Acutifolia* includes 9 species in Murmansk Region.

***Keywords**:*

Sphagnum, section Acutifolia, taxonomy, phytogeography, Murmansk Province, herbarium KPABG.

Введение

Семейство Sphagnaceae — одно из самых крупных во флоре мхов Мурманской обл., насчитывает около 30 видов [kpabg.ru›cris/?q=node/16]. Повышенное атмосферное увлажнение, обилие болот и водоемов обусловливают высокую встречаемость представителей этого семейства во флоре региона. Зачастую сфагновые мхи являются эдификаторами на различных типах болот, в заболоченных тундрах, играют заметную роль в функционировании этих экосистем и выступают в качестве среды обитания для других организмов. В России насчитывается 56 видов сфагновых мхов [Максимов, 2013]. Для Восточно-Европейской равнины известно 11 видов из секции *Acutifolia* [Popov, 2018], для Европы в целом — 17 [An annotated…, 2006; The dark morph…, 2015]. Для Мурманской обл. ранее приводилось 10 видов из этой секции [Шляков, Константинова, 1982].

Настоящая работа основана на критической ревизии сфагновых мхов секции *Acutifolia*, собранных на территории Мурманской обл. и хранящихся в гербарии ПАБСИ КНЦ РАН (KPABG). Критический пересмотр образцов на основании анатомо-морфологических признаков показал, что секция представлена 9 видами, 6 из них широко распространены в регионе, 1 — рассеянно, 2 являются редкими.

Ниже виды приведены в порядке их упоминания в ключе. Для каждого из них указаны отличия от сходных видов, распространение и особенности экологии в Мурманской обл. на основании изученных образцов. Все образцы внесены в информационную систему Cryptogamic Russian Information System [CRIS — service…, 2019, http://kpabg.ru/cris/?q=node/16].

Результаты и обсуждение

Секция *Acutifolia.*

Растения мелкие до средних, с хорошо различимой плоской или шарообразной головкой, хорошо заметной или неразличимой верхушечной почкой, в сыром состоянии обычно не блестящие, редко — с металлическим блеском. Цвет растений варьирует от зеленого до красного, обычно — пестрый красно-зеленый, желто-зеленый, с фиолетовыми частями, редко — бурый или розоватый. Стебли зеленые, желто-зеленые или красные, редко — бурые. Гиалодермис хорошо отграничен от склеродермиса, состоит из 2–3 слоев клеток, лишенных перегородок. Внутренние клетки гиалодермиса без пор или с одной

крупной округлой порой. Веточки узкие и довольно длинные, в пучке по 3–4 веточки, из которых 2 — отстоящие, обычно длиннее, и 1–2 — свисающие. Веточные листья непятирядные, за исключением 1 вида. Стеблевые листья разнообразной формы — от треугольных до треугольно-языковидных, приблизительно одного размера с веточными листьями, прямостоячие до отогнутых от стебля или свисающих. Веточные листья вогнутые, яйцевидные до яйцевидно-ланцетных, края цельные, слабозубчатые и загнутые внутрь в верхушке, не волнистые в сухом состоянии, без краевого желобка. Гиалиновые клетки веточных листьев на наружной стороне обычно имеют эллиптические поры вдоль комиссур и в углах клеток или кольчатые мелкие поры в верхушке листа; на внутренней стороне листа гиалиновые клетки веточных листьев имеют многочисленные большие округлые поры по краям. Хлорофиллоносные клетки на поперечном срезе треугольные до трапециевидных, широкой стороной выходят на внутреннюю поверхность листа.

Ключ для определения видов рода *Sphagnum* секции *Acutifolia*

1. Склеродермис стебля зеленый, желто-зеленый, красный или неоднородной окраски, зелено-красный……..…2

– Склеродермис стебля бурый, цвет растений бурый, зеленовато-бурый, изредка — зеленый……...……8

2. Стеблевые листья короткошпателевидные до широкошпателевидных, с максимальной шириной в верхней части, с закругленной бахромчатой верхушкой, растения обычно зеленые и никогда не имеют каких-либо красновато окрашенных частей ……..…….*S. fimbriatum*

– Стеблевые листья языковидные, треугольно-языковидные, с заостренной или слегка бахромчатой верхушкой, растения зеленые или красные…….3

3. Стеблевые листья языковидные, с закругленными или усеченными верхушками…….…...4

– Стеблевые листья треугольные, треугольно-языковидные, с острыми верхушками……..……..7

4. Клетки гиалодермиса стебля, как правило, с одной порой в большинстве клеток…….……5

– Клетки гиалодермиса стебля обычно без пор (изредка с одной порой лишь у части клеток)…….....6

5. Клетки гиалодермиса стебля с одной порой, стеблевые листья коротко- и широкоязыковидные до языковидно-шпателевидных, с широкой верхушкой, усеченные и слегка бахромчатые, растения зеленые…….*S. girgensohnii*

– Клетки гиалодермиса стебля с одной порой, стеблевые листья языковидные, верхушки обычно широко закругленные (иногда заостренные) и бахромчатые по центру, растения пестрые красно-зеленые, иногда зеленые……..……*S. russowii*

6. Веточные листья четкопятирядные, гиалиновые клетки наружной стороны веточных листьев в верхней части с мелкими кольчатыми порами в углах комиссур, растения темно-пурпурные, зелено-красные или с фиолетовым оттенком, иногда красные……..……*S. warnstofii*

– Веточные листья непятирядные, иногда в неясных рядах, гиалиновые клетки наружной стороны веточных листьев с многочисленными круглыми или эллиптическими порами, растения обычно красные или бордовые……...*S. rubellum*

7. Гиалиновые клетки верхней части стеблевых листьев, обычно содержат волокна с порами, растения пестрые — красно-зеленые, розовато-красные, изредка — зеленые, не блестящие в сыром состоянии……*S. capillifolium*

– Гиалиновые клетки стеблевых листьев без пор и волокон, растения желтовато-коричневые, с фиолетовыми и бурыми частями, растения с металлическим блеском в сыром состоянии…….….*S. subnitens*

8. Растения мелкие, бурые, обычно без красных частей, стеблевые листья языковидные, широко закругленные, цельные или слегка надорванные в верхушках, гиалиновые клетки наружной стороны веточных листьев с мелкими круглыми порами на комиссурах в верхней части листьев ……..*S. fuscum*

– Растения среднего размера, светло-бурые, бурые, иногда с розовым или оранжевым оттенком, но никогда не имеют каких-либо красных частей, с металлическим блеском в сыром состоянии, стеблевые листья широкоязыковидные до удлиненно-языковидных, с широко закругленными или заостренными верхушками, гиалиновые клетки наружной стороны веточных листьев с крупными эллиптическими порами на комиссурах в верхней части листьев ……...…….*S. subfulvum*

Sphagnum fimbriatum Wilson. Рис. 1.

Внешне схож с *S. girgensohnii*, но хорошо отличается по широкобахромчатым стеблевым листьям, тонкому стеблю и веточкам, а также довольно крупной, хорошо заметной верхушечной почке.

Экология и распространение. Минеротрофный, широко распространенный вид [The intricate…, 2009]. Обычен в Мурманской обл. Растет в лесном и тундровом поясе в горах, в нивальных сообществах, верховых и комплексных болотах, склоновых болотах, по берегам водотоков и озер, морским побережьям, в заболоченных лесах, во влажных и заболоченных ивняках; предпочитает влажную почву и покрытые почвой скалы, иногда произрастает на мелкоземе, на кочках, в воде мочажин, на иле под водой, редко — на комлях деревьев.

Изученные образцы: Айновы о-ва, 69°50′34″N, 31°34′08″E, *Белкина* 20.VI.2010 (KPABG 20418); г. Мурманск, *Другова*, 2005 (KPABG 18822); заповед. «Пасвик», 69°7′60″N, 29°14′55″E, *Бойчук*, 1.VIII.2011 (KPABG 122648); бухта Подпахтинская, *Белкина*, 1.VIII.2001 (KPABG 10481); массив Лавна-тундра, *Белкина*, 30.VII.1987 (KPABG 13091); залив Лумбовский, *Белкина*, 5.VII.2007 (KPABG 19692); Лапландский заповедник, 67°40′40″N, 32°25′52″E, *Белкина*, 2.VII.2010 (KPABG 19419); Хибины, *Белкина*, 3.VIII.1995 (KPABG 13095); Терский берег Белого моря, *Белкина*, 20.VIII.1999 (KPABG 8577); о-в Великий, *Лихачев*, 19.VIII.1992 (KPABG 6537).

Sphagnum girgensohnii Russow. Рис. 2.

Растения *S. girgensohnii* могут быть приняты за зеленые формы *S. russowii*, но последний имеет более длинные стеблевые листья и, как правило, хотя бы некоторые его части имеют пеструю красно-зеленую окраску.

Экология и распространение .Минеротрофный, теневыносливый, широко распространенный вид [The intricate…, 2009; Носкова, 2016]. В Мурманской обл. встречается во влажных и пойменных лесах, по берегам и в долинах ручьев и рек;

на низинных комплексных, склоновых болотах, во влажной и заболоченной тундре, на травяных луговинах и в ивняках; предпочитает почву, кочки, комли деревьев, разлагающуюся древесину и опад, влажные скалы.

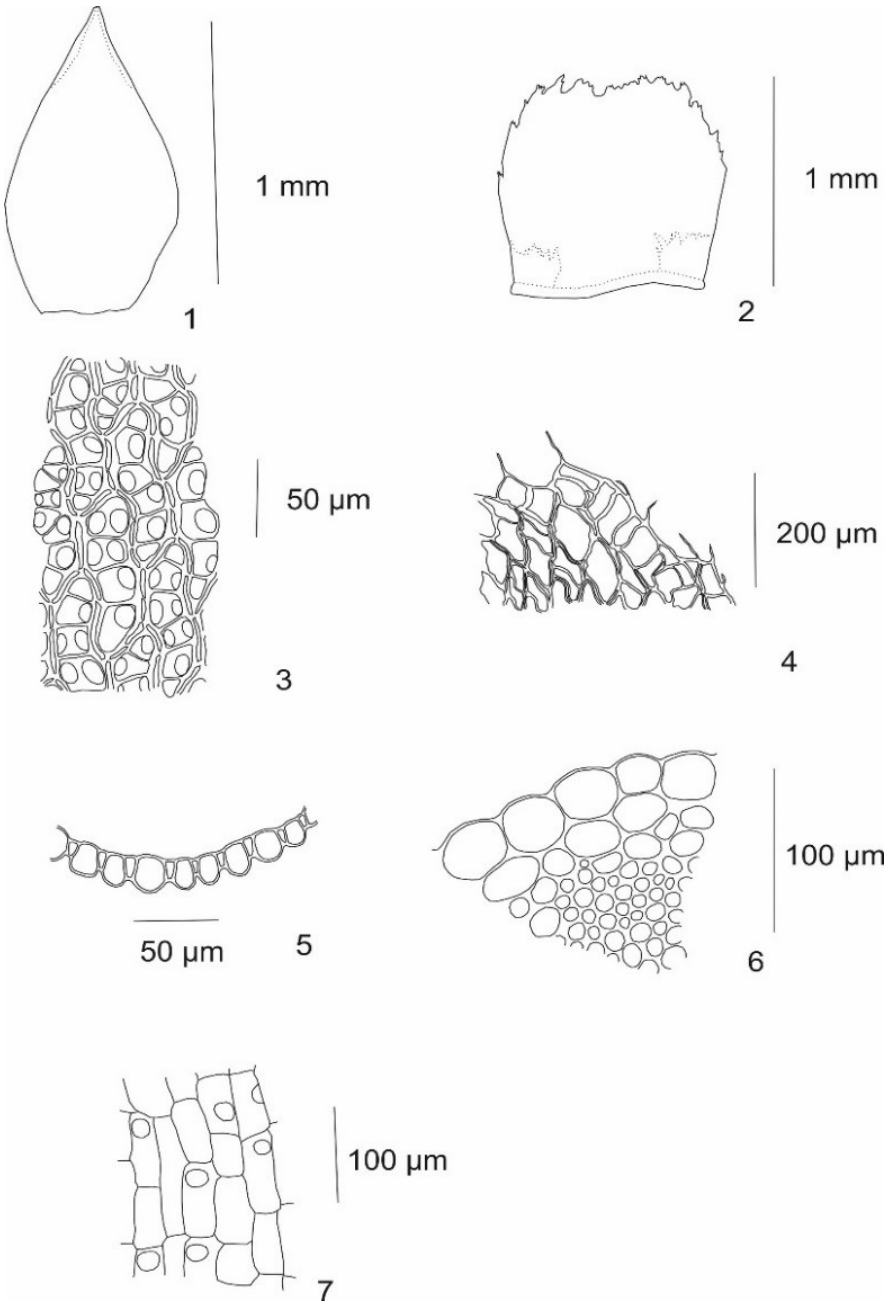


Рис. 1. *Sphagnum fimbriatum*Wilson:
1 — веточный лист; *2* — стеблевой лист; *3* — клетки с наружной стороны веточного листа; *4* — верхушка стеблевого листа; *5* — поперечный срез веточного листа; *6* — поперечный срез стебля»; *7* — наружные клетки гиалодермиса. Заповед. «Пасвик», о-в Варлама, *Бойчук*, 1.VIII.2011 (KPABG 122648)

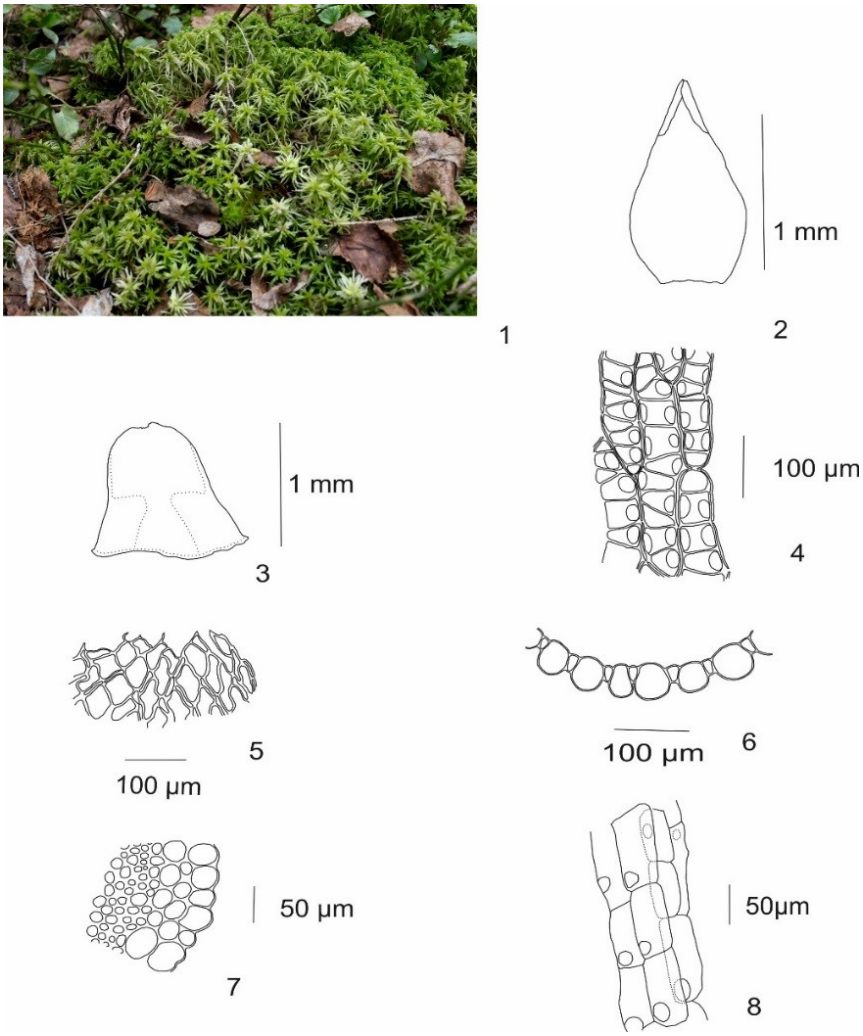


Рис. 2. *Sphagnum girgensohnii* Russow:
1 — внешний вид; *2* — веточный лист; *3* — стеблевой лист; *4* — клетки с наружной стороны веточного листа; *5* — верхушка стеблевого листа; *6* — поперечный срез веточного листа; *7* — поперечный срез стебля; *8* — наружные клетки гиалодермиса.
1 — Хибины, гора Вудъяврчорр, *Другова*, 9.VI.2018 (KPABG 122905); *2–8* — заповед. «Пасвик», *Бойчук*, 7.VIII.2011 (KPABG 122556)

Изученные образцы: п-ов Рыбачий, 69°36′02″N, 32°58′68″E, *Белкина*, 9.VI.2007 (KPABG 18177); окрестности р. Териберка, *Белкина*, 18.VIII.2004 (KPABG 12833); пос. Дальние Зеленцы, *Белкина*, 26.VII.2001 (KPABG 10306); заповед. «Пасвик», 69°17′24″N, 29°26′32″E, *Бойчук*, 7.VIII.2011 (KPABG 122556); окрестности Туломского вдхр., *Лихачев*, 20.VII.1989 (KPABG 13163); массив Лавна-тундра, *Белкина*, 22.VII.1987 (KPABG 6429); массив Чильтальд, *Белкина*, 7.VII.1988 (KPABG 7236); Лапландский заповед., *Белкина*, 31.VII.2003 (KPABG 123103); Лумбовский залив, *Белкина*, 10.VII.2007 (KPABG 19903); Хибины, 67°39′4″N, 33°39′54″E, *Другова*, 9.VI.2018 (KPABG 122905); Хибины, *Белкина*, 5.VIII.1998 (KPABG 7893); Хибины, *Шляков*, 23.VII.1974 (KPABG 13170);

окрестности г. Апатиты, 67°33′13″N, 33°28′48″E, *Другова*, 25.VI.2018(KPABG 122913); р. Поной, 67°4′33.96″N, 41°7′13.08″E, *Белкина*, 29.VIII.2014 (KPABG 120909); заказник «Кутса», ущ. Пюхякуру, *Шляков*, 2.VII.1972 (KPABG 13177).

Sphagnum russowii Warnst. Рис. 3.

Характерные признаки, отличающие *S. russowii* от сходных видов: обычно пестрые растения с плоской головкой, языковидные стеблевые листья бахромчатые (зубчатые) в центральной части верхушки. Зеленые формы могут быть ошибочно приняты за *S. girgensohnii*, но последний имеет более короткие стеблевые листья. Зелено-красные формы также сходны с *S. capillifolium*, но он имеет шарообразную выпуклую головку и более заостренные стеблевые листья с порами и волокнами, по крайней мере, в верхней части.

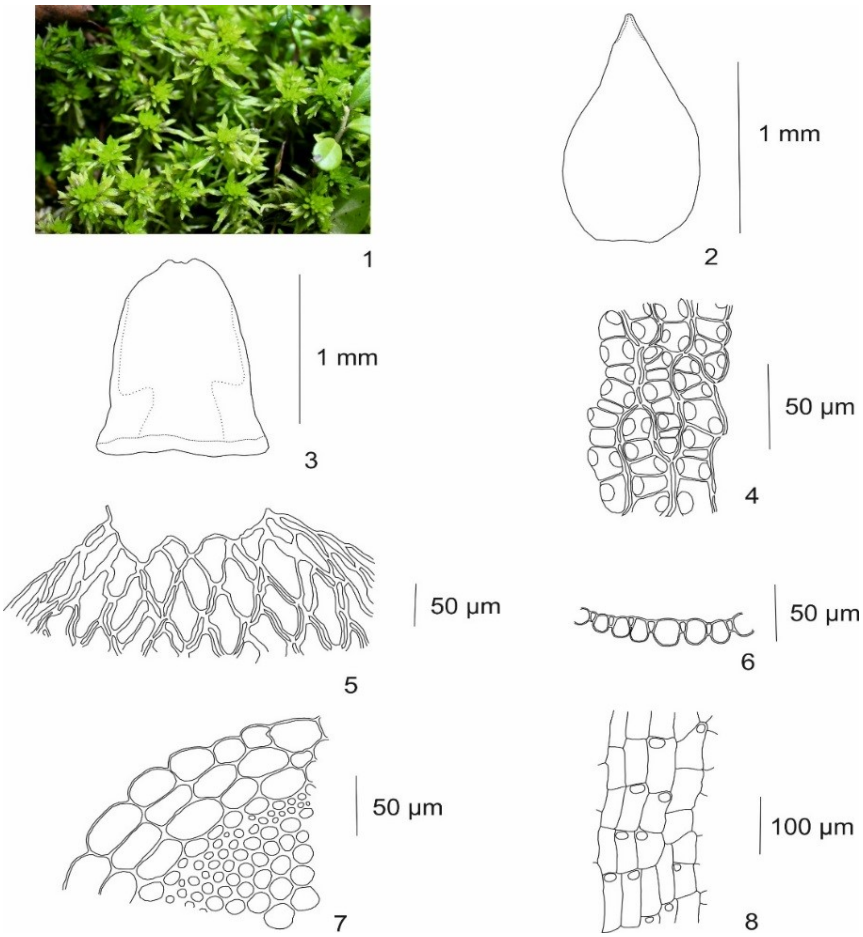


Рис. 3. *Sphagnum russowii* Warnst:
1 — внешний вид; *2* — веточный лист; *3* — стеблевой лист; *4* — клетки с наружной стороны веточного листа; *5* — верхушка стеблевого листа; *6* — поперечный срез веточного листа; *7* — поперечный срез стебля; *8* — наружные клетки гиалодермиса.
Окрестности г. Апатиты, *Другова*, 9.VI.2018 (KPABG 122910); *2–8* — Чуна-тундра, склон горы Сейднотчорр, лесной пояс, болото на берегу озера, *Белкина*, 6.VII.2010 (KPABG 21222)

Экология и распространение. Омбротрофный до слабоминеротрофного, теневыносливый вид [The intricate…, 2009]. Циркумполярный, обычен в арктических и бореальных районах, южнее встречается в горах, от небольших до значительных высот [Игнатов, Игнатова, 2003]. В Мурманской обл. обычен во влажных и заболоченных лесах (особенно в хвойных, реже в березняках), растет в заболоченных тундрах, низинных болотах, по влажным и заболоченным берегам водоемов; наиболее часто встречается на почве, кочках, иногда — на разлагающейся древесине.

Изученные образцы: арх. Айновы о-ва, *Белкина*, 18.VI.2010 (KPABG 20335); Териберка, *Качурин*, *Качурина*, 24.VIII.1937 (KPABG 13253); заповед. «Пасвик», 69°22′12″N, 29°44′07″E, *Бойчук*, 3.VIII.2011 (KPABG 122605); губа Дроздовка, 68°17′44.844″N, 38°26′59.064″E, *Белкина*, 8.VII.2016 (KPABG 120991); массив Йонн-Ньюгоайв, *Лихачев*, 1989 (KPABG 13257); массив Гремяха-Вымерс, 68°34′10″N, 32°32′40″E, *Белкина*, 16.IX.2002 (KPABG 9934); Лапландский заповед., *Белкина*, 24.VII.2003 (KPABG 11925); Лапландский заповед., *Белкина*, 24.VII.2003 (KPABG 12363); оз. Гирвас, 67°47′15″N, 30°19′43″E, *Шляков*, 15.VII.1977 (KPABG 122042); Хибины, *Константинова*, 16.IX.1989 (KPABG 13262); г. Апатиты, 67°27′30″N, 33°34′31″E, *Королева*, *Копеина*, 28.VII.2017 (KPABG 122513, 122514, 122522); окрестности г. Апатиты, *Другова*, 3.X.2018 (KPABG 123025); Панские тундры, 67°33′15″N, 35°16′13″E, *Белкина*, 9.IX.2007 (KPABG 20815); р. Поной, 67°4′38.64″N, 41°6′18″E, *Белкина*, 3.VIII.2014 (KPABG 120638); Терский берег Белого моря, *Белкина*, 20.VIII.1999 (KPABG 8583).

Sphagnum warnstorfii Russow. Рис. 4.

Наиболее характерные признаки *S. warnstorfii*, отличающие его от близких видов, — пятирядные веточные листья. Веточные листья в неясных рядах имеются также у *S. rubellum,* но для него характерны более заостренные стеблевые листья с волокнами в гиалиновых клетках. Гиалиновые клетки веточных листьев *S. rubellum* на наружной стороне имеют большие округлые поры, тогда как у *S. warnstorfii* гиалиновые клетки наружной стороны веточных листьев с мелкими кольчато-утолщенными порами. *S. warnstorfii* может быть спутан также с *S. russowii,* который иногда имеет красно-зеленую окраску, но не пятирядные веточные листья.

Экология и распространение. Строго минеротрофный вид. Циркумполярный с субокеанической тенденцией распространения, обычен в субарктических и северных бореальных регионах [The intricate…, 2009]. Распространен от низких до умеренных высот. В Мурманской обл. частый вид. Встречается на аапа и низинных болотах, склоновых и ключевых болотах, во влажных и заболоченных лесах, влажных ивняках, заболоченной тундре, по берегам водоемов, и на луговинах, в канавах и ямах с водой; предпочитает кочки, гряды, почву, торф, ил, изредка растет на комлях деревьев, влажных скалах с почвенным слоем, помете, разлагающейся древесине и стволах деревьев.

Изученные образцы: окрестности заповед. «Пасвик», 69°12′22″N, 29°23′36″E, *Бойчук*, 2.VIII.2014 (KPABG 122603); заповед. «Пасвик», *Бойчук,* 1.VIII.2011 (KPABG 122554); Лавна-тундра, *Белкина*, 9.VII.1987 (KPABG 5982); массив Гремяха-Вымерс, 68°34′51″N, 32°33′55″E, *Белкина*, 12.IX.2002 (KPABG 9757); Лапландский заповед., 68°02′28″N, 32°27′04″E, *Белкина*, 23.VIII.2011 (KPABG 20963); ж.-д. станция Хибины, *Прохоров, Кузенева*, 20.VIII.1920 (KPABG 13338); Хибины, *Медведев*, 26.IX.1947 (1576); Хибины, 67°39′1″N, 33°39′53″E, *Другова*, 9.VI.2018 (KPABG 122908); окрестности г. Апатиты, 67°27′30″N,

33°34′31″E, *Королева, Копеина*, 28.VII.2017 (KPABG 122506, 122507, 122514, 122515, 122519); окрестности г. Апатиты, 67°33′13″N, 33°28′48″E, *Другова*, 25.VI.2018 (KPABG 122911, 122918); пос. Нивский, 67°27′28″N, 33°34′34″E, *Другова*, 11.VII.2018 (KPABG 122951); п-ов Турий, *Лихачев*, 14.VIII.1994 (KPABG 8063); Порья губа, *Константинова*, 16.VIII.1991 (232).

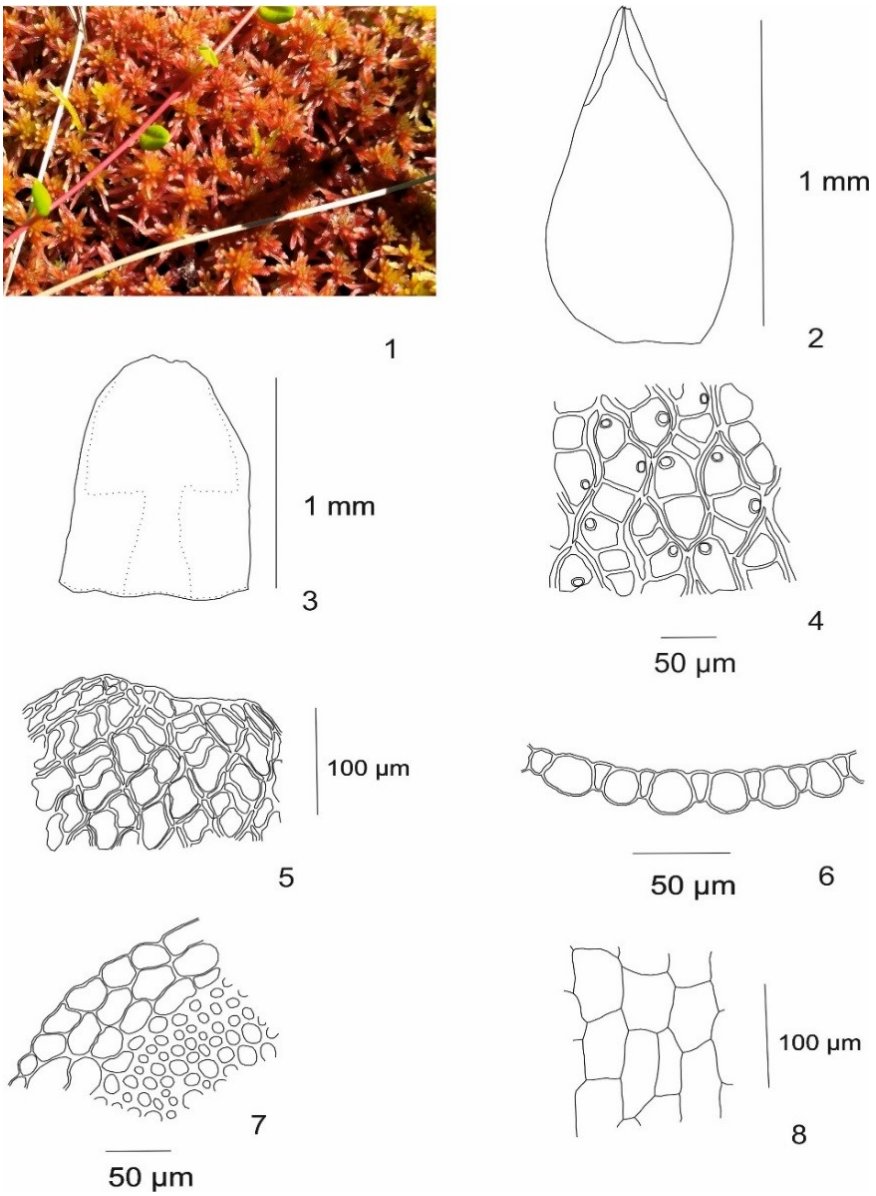


Рис. 4. *Sphagnum warnstorfii* Russow:
1 — внешний вид; *2* — веточный лист; *3* — стеблевой лист; *4* — клетки с наружной стороны веточного листа; *5* — верхушка стеблевого листа; *6* — поперечный срез веточного листа; *7* — поперечный срез стебля; *8* — наружные клетки гиалодермиса.
1 — пос. Нивский, окрестности дачного кооператива Плесозеро, *Другова*, 11.VII.2018 (KPABG 122951); *2–8* — аапа болото возле аэропорта Хибины, *Королева*, *Копеина*, 28.VII.2017 (KPABG 122506)

Sphagnum rubellum Wilson. Рис. 5.

Может быть спутан с *S. capillifolium*, но разграничение этих двух видов делают возможным хорошо заметные сквозь листья красные веточки, присутствие хотя бы небольшого количества закрученных веточек и плоская головка *S. rubellum.*

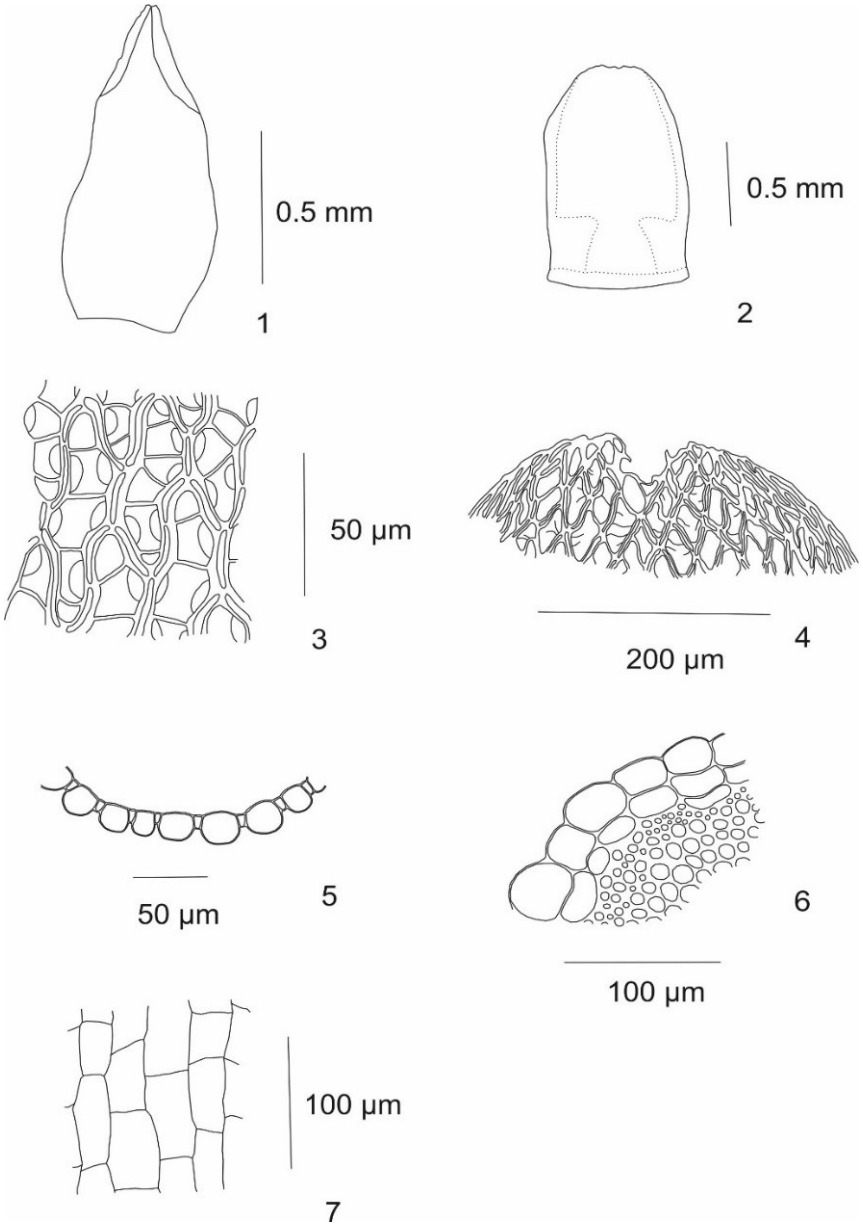


Рис. 5. *Spagnum rubellum* Wilson:
1 — веточный лист; *2* — стеблевой лист; *3* — клетки с наружной стороны веточного листа; *4* — верхушка стеблевого листа; *5* — поперечный срез веточного листа; *6* — поперечный срез стебля; *7* — наружные клетки гиалодермиса. Кандалакшский залив, СВ часть о-ова Олений, *Белкина*, *Лихачев*, 26.VII.1988 (KPABG 13252)

Экология и распространение. Омбротрофный вид. Циркумполярный, со слабой океанической тенденцией распространения [The intricate…, 2009]. Редкий в Мурманской обл., известны только три местонахождения: Кандалакшский залив, о-в Олений (KPABG 13252); о-в Великий, бухта Лобаниха (KAND 1690) и п-ов Рыбачий, в 7 км к востоку от устья р. Большая Эйна (KAND 1914).

Изученные образцы: Кандалакшский залив, СВ часть о-ова Олений, на кочке в болоте, *Белкина*, *Лихачев*, 26.VII.198 (KPABG 13252).

Sphagnum capillifolium (Ehrh.) Hedw. Рис. 6.

Наиболее характерные признаки *S. capillifolium*, позволяющие отличать его от сходных видов: небольшие размеры растений, красноватый или пестрый цвет и заостренные стеблевые листья с порами и волокнами в гиалиновых клетках. Может быть спутан с *S. rubellum*, но последний имеет более уплощенную головку, более закругленную верхушку у стеблевых листьев и менее плотное расположение веточных листьев.

Экология и распространение. Омбротрофный до слабоминеротрофного вид [The intricate…, 2009]. Циркумполярный, обычный в арктических и бореальных районах, южнее произрастает в горах, от низких до больших высот [Игнатов, Игнатова, 2003]. В Мурманской обл. обычен во влажных и заболоченных хвойных лесах; на комплексных болотах, грядах, кочках, реже — в мочажинах; по влажным и заболоченным берегам водоемов, склоновым болотам, в заболоченной тундре, влажных ивняках и травяных луговинах, в канавах, на почве, влажных выходах горных пород и камнях с почвенным слоем.

Изученные образцы: окрестности пос. Дальние Зеленцы, *Белкина*, 27.VII.2001 (KPABG 10357); заповед. «Пасвик», *Поликарпова*, 23.VII.2003 (KPABG 14264); заповед.«Пасвик», 69°22′50″N, 29°52′40″E, *Бойчук*, 5.VIII.2011 (KPABG 122600); массив Чильтальд, *Белкина*, 27.VI.1988 (KPABG 7329); губа Дроздовка, 68°17′44.844″N, 38°26′59.064″E, *Белкина*, 8.VII.2016 (KPABG 120992); массив Гремяха-Вымерс, 68°34′47″N, 32°33′51″E, *Белкина*, 14.IX.2002 (KPABG 9993); Лапландский заповед., *Белкина*, 19.VII.2003 (KPABG 2003); Лапландский заповед., *Белкина*, 18.VIII.2001 (KPABG 9107); Мончегорский р-н, *Левина*, 5.IX.1945 (KPABG 8021); Ловозерские горы, *Белкина*, 11.VIII.1984 (KPABG 10936); Хибины 67°39′1″N, 33°39′53″E, *Другова*, 9.VI.2018 (KPABG 122906); Хибины, *Медведев*, 5.VIII.1947 (993); Хибины, *Шляков*, 26.VII.1974 (1578); Хибины, 67°39′26″N, 33°40′23″E, *Другова*, 22.VI.2018 (KPABG 122937); Хибины, 67°40′05.4″N, 33°38′16.0″E, *Другова*, 29.VI.2018 (KPABG 122940); г. Апатиты, 67°27′30″N, 33°34′31″E, *Королева, Копеина*, 28.VII.2017 (KPABG 122512, 122515, 122516, 122518); р. Тумча, *Шляков*, 2.VIII.1956 (KPABG 8130); арх. Кемь-Лудский, *Белкина, Лихачев*, 14.VIII.1989 (KPABG 3179).

Sphagnum subnitens Russow & Warnst. Рис. 7.

Габитуально *S. subnitens* сильно схож с *S. subfulvum*, но имеет более длинную острую верхушку, как бы оттянутую в «носик», кроме того, он зачастую имеет фиолетово окрашенные части, что также отличает его от *S. subfulvum*, никогда не имеющего фиолетовой окраски. Есть некоторые трудности с отличием *S. subnitens* от *S. capillifolium*, который имеет сходную форму стеблевых листьев, но у последнего вида имеются поры и волокна хотя бы в верхней части стеблевых листьев.

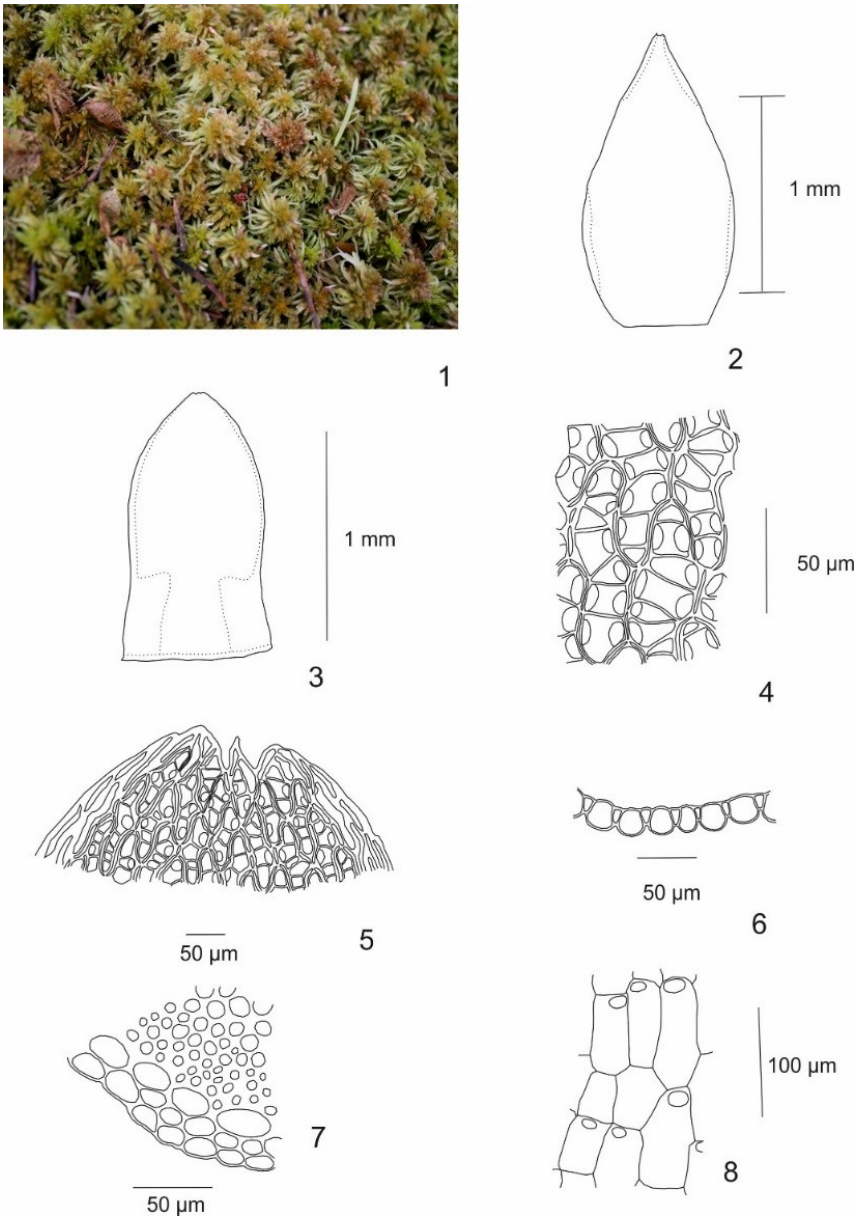


Рис. 6. *Sphagnum capillifolium* (Ehrh.) Hedw.:
1 — внешний вид; *2* — веточный лист; *3* — стеблевой лист; *4* — клетки с наружной стороны веточного листа; *5* — верхушка стеблевого листа; *6* — поперечный срез веточного листа; *7* — поперечный срез стебля; *8* — наружные клетки гиалодермиса.
1 — Хибинские горы, гора Вудъяврчорр, *Другова*, 9.VI.2018 (KPABG 122906); *2–8* — СВ берег Баренцева моря, губа Дроздовка, *Белкина*, 8.VII.2016 (KPABG 120992)

Экология и распространение. Редкий вид с дизъюнктивным ареалом [Игнатов, Игнатова, 2003; Носкова, 2016] и субокеанической тенденцией распространения [The intricate…, 2009]. В Мурманской обл. известно только одно подтвержденное гербарным образцом местонахождение в окрестностях пос. Туманный, на 121-м км трассы.

Изученные образцы: окрестности пос. Туманный, 121-й км трассы, бугристое пухоносово-осоково-гипновое болото, ковер между эродированными буграми, *Кузнецов* 29.VIII.1997 (KPABG 123053).

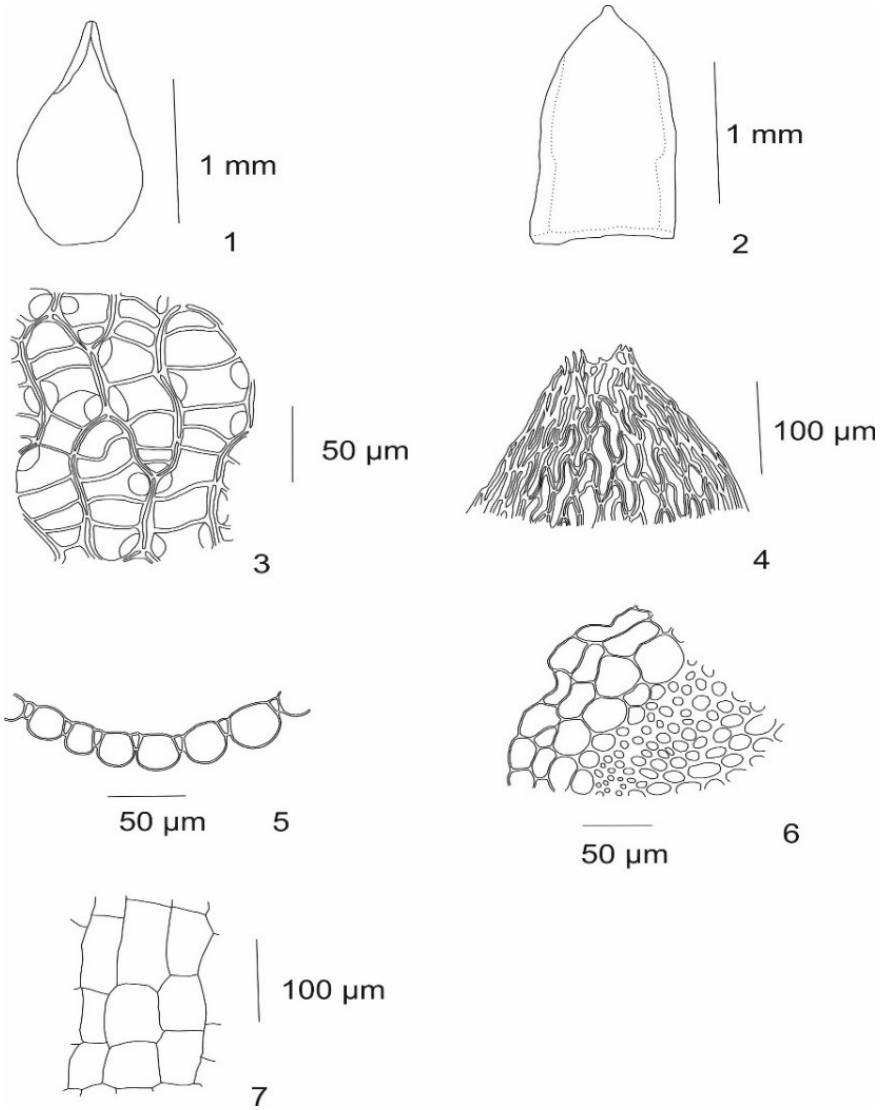


Рис. 7. *Sphagnum subnitens* Russow & Warnst:
1 — веточный лист; *2* — стеблевой лист; *3* — клетки с наружной стороны веточного листа; *4* —— верхушка стеблевого листа; *5* — поперечный срез веточного листа; *6* — поперечный срез стебля; *7* — наружные клетки гиалодермиса.
Окрестности пос. Туманный, 121-й км трассы, *Кузнецов*, 29.VIII.1997 (KPABG 123053)

Sphagnum fuscum (Schimp.) H. Klinggr. Рис. 8.

Наиболее характерные отличительные признаки *S. fuscum*: компактные бурые растения, формирующие плотные дерновины и всегда темно-коричневый стебель. Может быть спутан с *S. subfulvum*, однако у последнего дерновинки более жесткие, оранжевато-коричневой окраски.

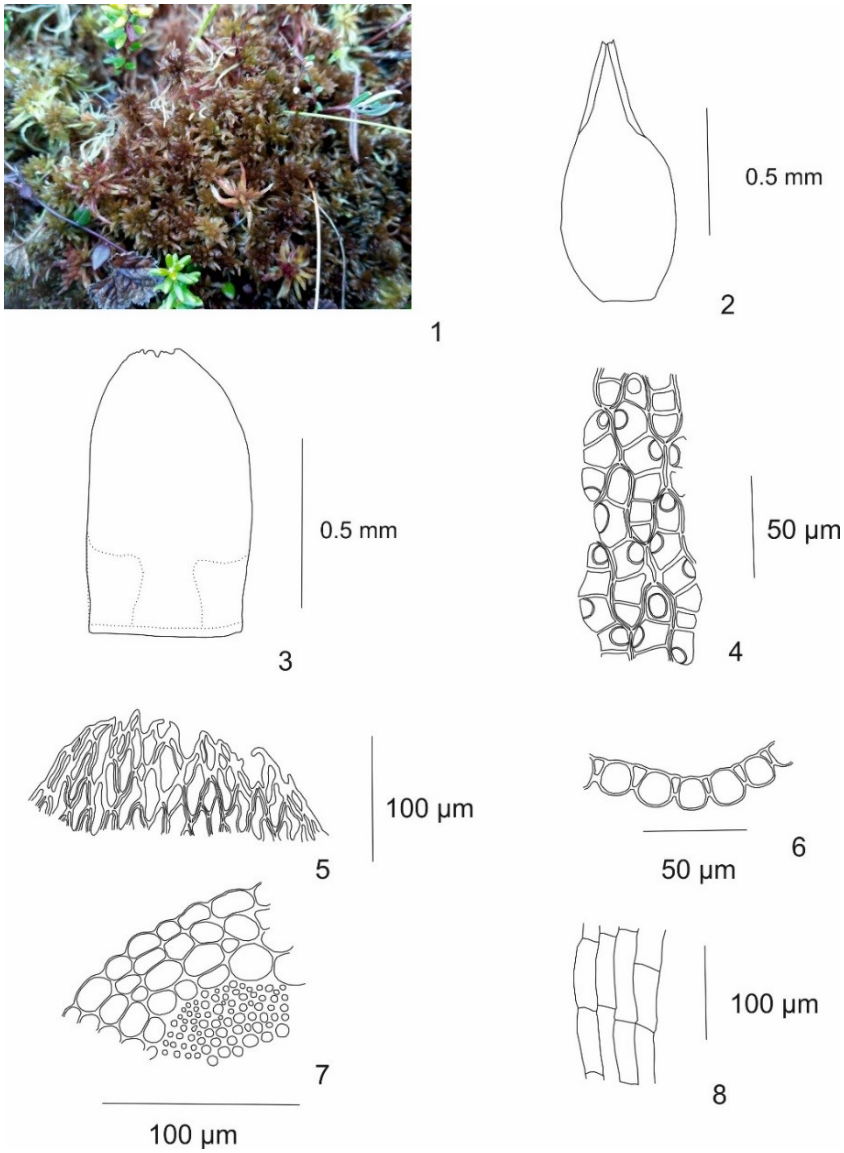


Рис. 8. *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Kinggr.:
1 — внешний вид; *2* — веточный лист; *3* — стеблевой лист; *4* — клетки с наружной стороны веточного листа; *5* — верхушка стеблевого листа; *6* — поперечный срез веточного листа;*7* — поперечный срез стебля; *8* — наружные клетки гиалодермиса.
1 — окрестности г. Апатиты, *Другова* 3.X.2018 (KPABG 123022); *2–8* — заповед. «Пасвик», о-в Меникка, *Бойчук*, 5.VIII.2011 (KPABG 122602)

Экология и распространение. Омбротрофный вид, обильный в арктических и бореальных зонах Голарктики [Игнатов, Игнатова, 2003]. В Мурманской обл. растет на олиготрофных верховых и склоновых болотах, болотах переходного типа, заболоченных берегах водоемов, очень редок на богатых низинных болотах, комплексных болотах, в заболоченной кустарничковой тундре; встречается на кочках, почве, сырых, покрытых почвой скалах, торфе, изредка — у основания стволов деревьев.

Изученные образцы: п-ов Рыбачий, *Константинова*, 19.VII.1978 (KPABG 13100); окрестности г. Мурманск, *Медведев*, 4.IX.1945 (KPABG 13099); заповед. «Пасвик», 69°22′50″N, 29°52′40″E, *Бойчук*, 5.VIII.2011 (KPABG 122602); массив Лавна-тундра, *Белкина*, 9.VIII.1987 (KPABG 5985); массив Лавна-тундра, *Белкина*, 26.VII.1987 (KPABG 13294); Лапландский заповед., *Белкина*, 19.VII.2003 (KPABG 2003); Лапландский заповед., *Белкина*, 18.VIII.2001 (KPABG 9107); Лапландский заповед., *Белкина*, 1.VIII.2004 (KPABG 12644); Хибины, *Смирнова*, 4.VIII.1946 (KPABG 13149); окрестности г. Апатиты, 67°35′12″N, 33°9′48″E, *Другова*, 3.X.2018 (KPABG 123022); Панские тундры, 67°33′15″N, 35°16′13″E, *Белкина*, 9.IX.2007 (KPABG 20829); окрестности пос. Октябрьский, 67°27′52″N, 34°17′4″E, *Белкина*, 15.VIII.2017 (KPABG 121822); Колвицкая губа, *Белкина*, 28.VII.2002 (KPABG 10225); о-в Великий, *Лихачев*, 15.VIII.1992 (KPABG 6502).

Sphagnum subfulvum Sjörs. Рис. 9.

Sphagnum subfulvum может быть принят за *S. fuscum* из-за бурого цвета дерновинок и склеродермиса у обоих видов, но имеет более заостренные стеблевые листья и оранжево или розово окрашенные части растения. Внешне *S. subfulvum* также похож на *S. capillifolium*, но последний имеет поры и волокна в гиалиновых клетках стеблевых листьев и шаровидную головку. От похожего *S. subnitens,S. subfulvum* отличается более короткими языковидными стеблевыми листьями и отсутствием красновато окрашенных частей.

Экология и распространение. Минеротрофный, циркумполярный, массово встречается в Субарктике и на севере бореальной зоны, с океанической тенденцией распространения, отсутствует в гемибореальных районах [The intricate…, 2009]. В Мурманской обл. встречается рассеянно, растет в основном на богатых низинных и аапа болотах, менее часто — на бугристых болотах, заболоченных берегах водоемов, в мохово-кустарничковой тундре, изредка — среди каменистых россыпей, на нивальных луговинах; предпочитает почву, ил, кочки, гряды, встречается в воде мочажин.

Изученные образцы: р. Териберка, *Шляков*, 5.VIII.1977 (KPABG 6818); пос. Дальние Зеленцы, *Кузнецов*, 30.VIII. 1997 (KPABG 13297); заповед. «Пасвик», 69°08′14″N, 29°14′35″E, *Бойчук*, 1.VIII.2011 (KPABG 122548); массив Лавна-тундра, *Белкина*, 9.VIII.1987 (KPABG 5981); Лапландский заповед., *Андреева*, 9.VII.1986 (KPABG 21668); Ловозерские горы, *Белкина*, 2.VIII.1983 (KPABG 10085); Хибины, *Медведев*, 5.VIII.1947 (KPABG 8368); Хибины, *Шляков*, 23.VII.1974 (KPABG 8608); окрестности г. Апатиты, *Шляков*, 17.IX.1958 (KPABG 13299); окрестности р. Верхний Верман, *Белкина*, 13.VIII.1986 (KPABG 121767); р. Вяла, *Паянская-Гвоздева*, 16.VIII.1980 (KPABG 6271); Порья губа, *Паянская-Гвоздева*, 27.VII.1980 (KPABG 6274); о-в Великий, *Лихачев*, 16.VIII.1992 (KPABG 13304).

Заключение

Со времени издания «Конспекта флоры мохообразных Мурманской области» [Шляков, Константинова, 1982] в результате многочисленных экспедиций в различные районы представления о распространении видов мхов в регионе, в т. ч. сфагновых, значительно изменились. В процессе обобщения более поздних работ и переопределения некоторых образцов из секции *Acutifolia* были уточнены распространение и основные черты экологии для ряда видов этой секции.

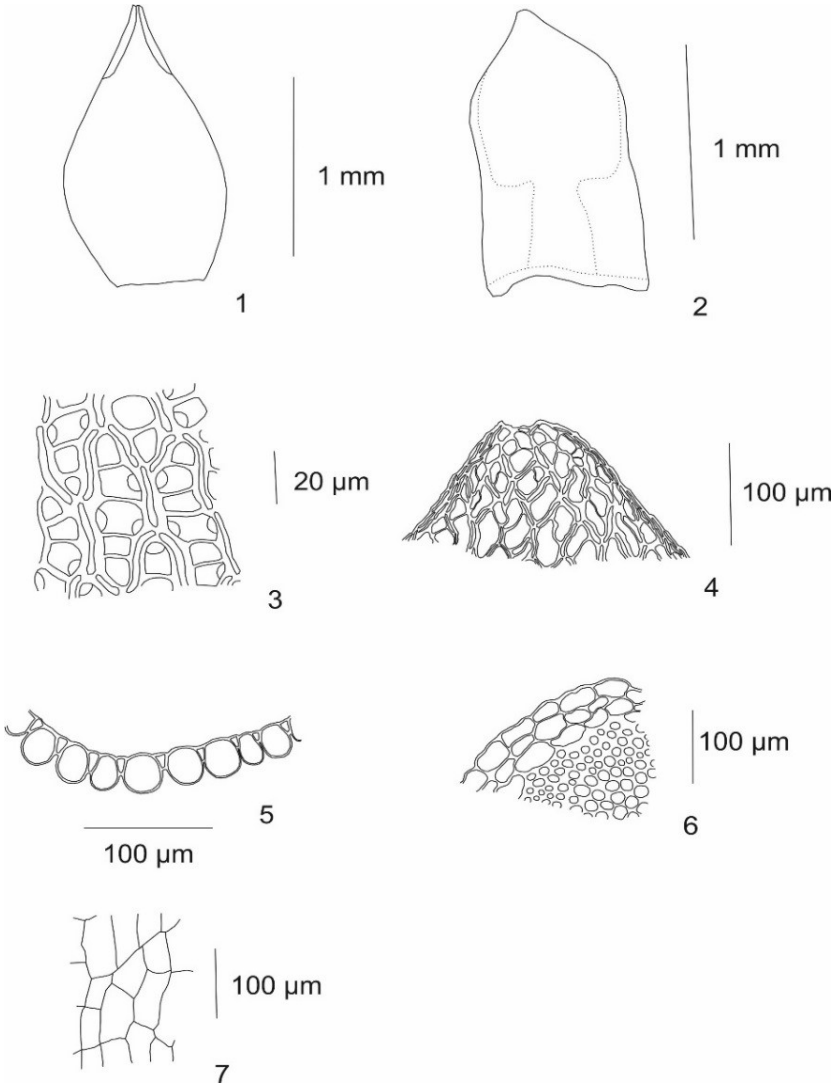


Рис. 9. *Spagnum subfulvum* Sjörs.:
1 — веточный лист; *2* — стеблевой лист; *3* — клетки с наружной стороны веточного листа; *4* — верхушка стеблевого листа; *5* — поперечный срез веточного листа; *6* — поперечный срез стебля; *7* — наружные клетки гиалодермиса.
Бассейн р. Умба, р. Вяла, полигональное аапа болото, *Паянская-Гвоздева*, 16.VIII.1980 (KPABG 6271)

Секция *Acutifolia* в Мурманской обл. представлена 9 видами, 5 из них широко распространенные в регионе (*S. capillifolium*, *S. fimbriatum*, *S. fuscum*, *S. girgensohnii*, *S. russowii*). Ранее *S. fimbriatum* относили к очень редким в области видам: он был известен лишь из района реки Нявки и в Хибинских горах [Шляков, Константинова, 1982]. *S. warnstorfii* — также обычный вид в Мурманской обл., в целом тяготеющий к северу бореальной зоны [Popov, 2018], как и *S. subfulvum*, который имеет более северный ареал в Европейской России. Вид *S. subfulvum* имеет основное распространение в северной тайге Мурманской обл. и становится менее частым в средней тайге Карелии [Maksimov, 1998], встречается рассеянно

в различных частях региона, в основном на аапа болотах. Два последних вида — *S. subnitens* и *S. rubellum* — являются редкими в регионе, *S. subnitens* занесен в Красную книгу Мурманской обл. [2014] как редкий вид. До недавнего времени указывалось несколько местонахождений в Мурманской обл. [Шляков, Константинова, 1982, Константинова и др., 1993, Лихачев, Белкина, 1999], но критический пересмотр образцов А. И. Максимовым показал, что все они принадлежат виду *S. warnstorfii*. На сегодня известно только одно подтвержденное гербарным образцом местонахождение — окрестности пос. Туманный.

S. subnitens — редкий вид Восточно-Европейской равнины [Popov, 2018] и территории бывшего СССР [Савич-Любицкая, Смирнова, 1968], имеет дизъюнктивный ареал [Игнатов, Игнатова, 2003], обычен и обилен в Фенноскандии [The intricate…, 2009; Flatberg, 2013]. *S. rubellum* — приокеанический вид, в Фенноскандии обычен на западных побережьях [Там же], в Мурманской обл. имеет три местонахождения — на севере и на юге возле Баренцева и Белого морей, и только одна из точек достоверно подтверждена гербарным образцом в KPABG. Вид является кандидатом на внесение в Красную книгу Мурманской обл. Указанный ранее для региона *S. subtile* [Шляков, Константинова, 1982] был сведен в синоним *S. capillifolium* [Ignatov et al., 2006]. *S. quinquefarium*, приводимый неоднократно для различных частей Мурманской обл. — Хибины, Пюхякуру, Чильтальд [Константинова и др., 1993], Кандалакшский заповедник, о-ов Великий [Белкина, Лихачев, 1997], Ловозерские горы [Белкина и др., 1991], в данной работе нами не указывается, поскольку в гербарии KPABG не обнаружено ни одного образца, отнесенного к вышеуказанному виду. Единственный образец, хранящийся в KPABG, был отнесен к *S. warnstorfii*. В целом в северо-западных районах евро-азиатской России он встречается редко [Дорошина и др., 2016]. Растет в основном в сырых хвойных лесах, имеет субокеаническую тенденцию распространения [Носкова, 2017]. В гербарии MW хранятся два образца, собранные в Печенгском районе Мурманской обл. (https://plant.depo.msu.ru/).

По экологическим предпочтениям к минеротрофным представителям секции *Acutifolia* относятся 4 вида, из них *S. subfulvum* и *S. warnstorfii*, предпочитают богатые эвтрофные болота, *S. girgensohnii* и *S. fimbriatum* — заболоченные и подтопленные леса и берега водоемов, тундровые сообщества и различные типы болот. Среди омбротрофных видов — *S. fuscum*, поселяющийся большей частью на олиготрофных склоновых и верховых болотах, и *S. russowii* и *S. capillifolium* — во влажных лесах.

Выражаю благодарность А. И. Максимову и А. Ю. Лихачеву за консультации и помощь в определении видов, А. И. Максимову за дублеты некоторых видов секции Acutifolia. Работа выполнена в рамках государственного задания ПАБСИ КНЦ РАН.

Литература

Белкина О. А., Лихачев А. Ю. Конспект флоры листостебельных мхов Кандалакшского заповедника (Белое море). Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 45 с.

Белкина О. А., Константинова Н. А., Костина В. А. Флора высших растений Ловозерских гор. СПб., 1991. 204 с.

Белкина О. А., Лихачев А. Ю. Список листостебельных мхов Лапландского заповедника // Вестник МГТУ. 2010. № 13 (4/2). С. 984–988.

Дорошина Г. Я., Курбатова Л. Е., Носкова М. Г. Дополнения и изменения списка охраняемых видов Ленинградской области. Мхи (*Bryophyta*) // Новости сист. низш. раст. 2016. № 50. С. 268–283.

Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части Европейской России. М.: КМК, 2003. 608 с.

Константинова Н. А., Лихачев А. Ю., Белкина О. А. Дополнения и уточнения к «Конспекту флоры мохообразных Мурманской области» // Флористические и геоботанические исследования в Мурманской области. Апатиты, 1993. С. 6–44.

Красная книга Мурманской области. Мурманск: Кн. изд-во, 2003. 400 с.

Красная книга Мурманской области. Кемерово: Азия-Принт, 2014. 584 с.

Лихачев А. Ю., Белкина О. А. Листостебельные мхи горного массива Лавна-тундра (Мурманская область, Россия) // Arctoa. 1999. № 8. С. 5–16.

Максимов А. И. Некоторые итоги и перспективы изучения Sphagnaceae (Bryophyta) России // Современная ботаника в России. 2013. С. 244–245.

Носкова М. Г. Полевой атлас-определитель сфагновых мхов таежной зоны Европейской России. Тула: Аквариус, 2016. 112 с.

Савич-Любицкая Л. И., Смирнова З. Н. Определитель сфагновых мхов СССР. Л.: Наука, 1968. 112 с.

Цифровой гербарий МГУ/ ред. А. П. Серегин. М.: Изд-во МГУ, 2020. URL: https://plant.depo.msu.ru/ (дата обращения: 05.09.2019).

Шляков Р. Н., Константинова Н. А. Конспект флоры мохообразных Мурманской области. Апатиты, 1982. 227 с.

An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia / M. O. Hill [et al.] // J. Bryol. 2006. Vol. 28. P. 198–267.

CRIS — service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams / A. V. Melekhin [et al.] // Folia Cryptogamica Estonica. 2019. Vol. 56. P. 99–108.

Flatberg K. I. Norges torvmosser. Akademica forlag, Trondheim,2013. 307 p.

Ignatov M. S., Afonina O. M., Ignatova E. A. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.

Maksimov A. I. Distribution and ecology of *Sphagnum subfulvum* in European Russia // Arctoa. 1998. No. **7**. P. 21–24.

Popov S. Yu. Distribution patterns of *Sphagnum* sect. *Acutifolia* species in the Eastern European Plain and Eastern Fennoscandia // Arctoa. 2018. Vol. 27. P. 34–48.

The dark morph of *Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. in Europe is conspecific with the North American *S. beothuk*. / M. O. Kyrkjeeide [et al.] // J. Bryol. 2015. Vol. 37. P. 251–266.

The intricate beauty of *Sphagnum* mosses — a Finnish guide to identification / J. Laine [et al.] // University of Helsinki department of forest ecology publications. 2009. 39. 190 p.

Сведения об авторе

Другова Татьяна Петровна
кандидат биологических наук, зав. лабораторией Гербарий Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина, Апатиты; e-mail:darktanya@mail.ru

Tatjana P. Drugova
PhD (Biology), Head of Herbarium Laboratory of N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity; e-mail:darktanya@mail.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.004
УДК 574.5 (28.58)

Н. Р. Кириллова
Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра Российской академии наук

РАЗНООБРАЗИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ В ЗАПОВЕДНИКЕ «ПАСВИК» (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация

Водная флора заповедника «Пасвик» насчитывает 57 видов. Водные сосудистые растения распространены широко, но неравномерно — большинство встречается нередко или обычно. Доля редко встречающихся видов значительна, из них большая часть приурочена к южной и северной частям заповедника. Два вида внесены в Красную книгу России [2008], пять — в Красную книгу Мурманской обл. [2014], семь — в список охраняемых видов Норвегии [Henriksen, Hilmo, 2015].

Ключевые слова:

водные растения, биоразнообразие, охраняемые виды, заповедник «Пасвик», Мурманская обл.

Natalya R. Kirillova
N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences

DIVERSITY AND DISTRIBUTION OF AQUATIC PLANTS IN THE PASVIK STATE NATURE RESERVE (MURMANSK REGION)

Abstract

The aquatic flora of the Pasvik State Nature Reserve includes 57 species. Aquatic vascular plants are widespread, but uneven — most are not rare or common. The proportion of rare species is significant, most of them are confined to the southern and northern parts of the Reserve. Two species include in the Red Data Book of Russia, five specieslisted in the Red Data Book of Murmansk Region, and seven species in the Norwegian Red List for Species [Henriksen, Hilmo, 2015].

Keywords:

aquatic plants, biodiversity, protected species, Pasvik State Nature Reserve, Murmansk Region.

Введение

Заповедник «Пасвик» расположен в бассейне реки Паз, состоящем из крупных озер, связанных между собой протоками с водопадами и стремнинами. Сток зарегулирован, на реке построено семь гидроэлектростанций. Географически заповедник расположен в заполярных широтах, однако благодаря влиянию теплого течения Гольфстрим в долине р. Паз произрастают сосновые леса, имеющие самое северное в Европе распространение, и формируется довольно богатая водная растительность. Создание заповедника и его функционирование тесно связано с водными угодьями, к которым приурочено множество видов водоплавающих и околоводных птиц. Обширные заросли водных и прибрежно-водных растений служат для них кормом и средой обитания. Изучение распространения и разнообразия водных растений является неотъемлемым компонентом инвентаризации и сохранения природы заповедника.

Цель работы — обзор разнообразия и распространения водных и прибрежно-водных растений на территории заповедника «Пасвик».

Материалы и методы

При подготовке работы использовали материалы собственных сборов, хранящиеся в гербариях ПАБСИ КНЦ РАН (KPABG), заповедника «Пасвик», Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН (IBIW), наблюдений за 2003–2017 гг., а также литературные источники [Костина, 2003; Кравченко, 2009, 2011; Значимые находки растений…, 2017; Значимые находки…, 2020; и др.].

Для оценки распространения растений мы разделили территорию заповедника на три условные зоны в соответствии с особенностями геологического строения, влияющими на формирование ландшафтов в прибрежной зоне [Поликарпова, 2006]: южную — от плотины Хевоскоски до подножия горы Калкупя, центральную — от подножия горы Калкупя до реки Лауккуйоки и северную — от реки Лауккуйоки до озера Сальмиярви.

Частоту встречаемости растений оценивали по шкале: редко, изредка, нередко, обычно.

Названия видов приведены в соответствии с “The Plant List…” и сводкой по секции Batrachium рода *Ranunculus* [Wiegleb et al., 2017].

Результаты и обсуждение

Полученные сведения позволили нам составить список водных и прибрежно-водных растений заповедника «Пасвик», уточнить их распространение и встречаемость.

Виды, известные только по литературным данным и не подтвержденные гербарными сборами, отмечены знаком «!». Выявлены виды, включенные в Красные книги различного ранга: Красную книгу Российской Федерации [ККРФ, 2008], Красную книгу Мурманской обл. [ККМО, 2014], Список охраняемых видов Норвегии — NRL [Henriksen, Hilmo, 2015].

Agrostis stolonifera L. — северная часть заповедника; изредка.
Alopecurus aequalis Sobol. — по всей территории заповедника; рассеянно.
(!) *Callitriche hamulata* Koch. — северная и южная части заповедника; изредка.
Callitriche hermaphroditica L. — северная и южная части заповедника; изредка. NRL — NT.
Callitriche palustris L. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Caltha palustris L. — по всей территории заповедника; обычно.
Cardamine dentata Schult. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Carex aquatilis Wahlenb. [включая *Carex concolor* R. Br.] — по всей территории заповедника; обычно.
Carex lasiocarpa Ehrh. — по всей территории заповедника; обычно.
Carex rostrata Stokes. — по всей территории заповедника; обычно.
Carex vesicaria L. — по всей территории заповедника; редко.
Catabrosa aquatica P. Beauv. — вблизи северной границы заповедника; редко. NRL — NT.
Comarum palustre L. — по всей территории заповедника; обычно.
Elatine hydropiper L. — вблизи северной границы заповедника; редко. ККМУ — 4; V — NT.

Elatine orthosperma Dueben. — вблизи северной границы заповедника; редко. ККМУ — 3; NRL — NT.
Eleocharis acicularis (L.) Roem. et Schult. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Equisetum fluviatile L. — по всей территории заповедника; обычно.
Eriophorum angustifolium Honck. — по всей территории заповедника; обычно.
Hippuris vulgaris L. — по всей территории заповедника; обычно.
Isoëtes lacustris L. — по всей территории заповедника; рассеянно. ККМО — 5, ККРФ — 3.
Isoetes echinospora Dur. [= *Isoëtes setacea* Durieu] — по всей территории заповедника; рассеянно. ККМО — 5, ККРФ — 2.
Lemna trisulca L. — северная часть заповедника; изредка. NRL — NT.
Limosella aquatica L. — северная и южная части заповедника; изредка.
Menyanthes trifoliata L. — по всей территории заповедника; обычно.
Montia fontana L. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Myosotiscespitosa K.F. Schultz. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Myriophyllum alterniflorum DC. — по всей территории заповедника; обычно.
(!) *Myriophyllum sibiricum* Kom. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Myriophyllum verticillatum L. — северная часть заповедника; редко. NRL — VU.
Naumburgia thyrsiflora (L.) Reichenb. — по всей территории заповедника; редко.
Nuphar lutea (L.) Smith. —северная часть заповедника; редко.
Nuphar pumila (Timm.) DC. — южная часть заповедника; редко.
Pedicularis palustris L. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Persicariaamphibia (L.) S. F. Gray. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Phragmites australis (Cav.) Steud. — по всей территории заповедника; обычно.
Potamogeton alpinus Balb. — по всей территории заповедника; обычно.
Potamogeton berchtoldii Fieb. — северная и южная части заповедника; изредка.
Potamogeton gramineus L. — по всей территории заповедника; обычно.
(!) *Potamogeton natans* L. — южная часть заповедника; редко.
Potamogeton perfoliatus L. — по всей территории заповедника; обычно.
Potamogeton praelongus Wulf. — северная и южная части заповедника; рассеянно.
Ranunculus confervoides (Fr.) Fr. [=*Ranunculus trichophyllus subsp. eradicatus* (Laest.) C. Cook] — южная часть заповедника; изредка.
Ranunculus hyperboreus Rottb. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Ranunculus reptans L. — по всей территории заповедника; обычно.
Ranunculus schmalhausenii Luferov [= *Ranunculus dichotomus* (Schmalh.) N. I. Orlova] — по всей территории заповедника; обычно. Виды, определенные ранее как *Ranunculus peltatus* Schrank и *Ranunculus penicillatus* (Dumort.) Bab., исключены из флоры заповедника, согласно сводке [Wiegleb et al., 2017].
Sagittaria natans Pall. — центральная и южная части заповедника; редко. ККМО — 3.
Scirpus sylvaticus L. — северная часть заповедника; редко.
Sparganium angustifolium Michx. — по всей территории заповедника; обычно.

Sparganium emersum Rehm. — северная и центральная части заповедника; изредка.
Sparganium gramineum Georgi — южная часть заповедника; редко. NRL — NT.
Sparganium hyperboreum Laest. ex Beurl. — по всей территории заповедника; рассеянно.
Stuckenia filiformis (Pers.) Börner [= *Potamogeton filiformis* Pers.] — северная и южная части заповедника; редко. ККМО — 3.
Subularia aquatica L. — по всей территории заповедника; обычно.
Utricularia intermedia Hayne — по всей территории заповедника; обычно.
Utricularia minor L. — по всей территории заповедника; обычно.
Utricularia vulgaris L. — по всей территории заповедника; изредка.

В настоящий момент водная и прибрежно-водная флора заповедника «Пасвик» включает 57 видов и 5 внутри- и межвидовых таксонов, что составляет 73 % всей водной флоры Мурманской обл. и около 10 % флоры сосудистых растений заповедника. В целом в пределах заповедника водные сосудистые растения распределены неравномерно. Большинство видов встречается нередко (40 %) или обычно (31 %). Редко встречающиеся виды (29 %) найдены в основном в оз. Хеюхенъярви в южной части заповедника и в долине р. Мениккайоки в северной части.

Для многих видов изменилось представление о распространении по сравнению со сводкой В. А. Костиной [2003]. Так, *Sagittaria natans* был указан для территории Норвегии — окрестностей Ноатуна [Костина, 2003]. В 2003 г. этот вид был найден в оз. Хеюхенъярви (Канева, гербарий заповедника «Пасвик»), а в 2017 г. — у подножия горы Калкупя в центральной части заповедника. Более широкое распространение по территории заповедника также установлено для видов *Callitriche palustris, Carex rostrata, Eleocharis acicularis, Isoetes echinospora*, *Myriophyllum alterniflorum, Persicaria amphibia, Potamogeton perfoliatus.*

Широко распространенные виды (*Ranunculus schmalhausenii*, *Sparganium angustifolium*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Potamogeton gramineus*, *Potamogeton perfoliatus* и др.) при подходящих условиях водного режима и рельефа дна занимают значительные площади, покрывая до 50–100 % водной поверхности как в южной, так и в северной частях заповедника. К примеру, *Ranunculus schmalhausenii* доминирует на протяжении большого (около 500 м) участка притока реки Мениккайоки, достигая местами 95 % проективного покрытия.

В заповеднике «Пасвик» отмечено два вида, внесенных в Красную книгу России [2008], пять видов из Красной книги Мурманской обл. [2014], семь видов, охраняемых в Норвегии [Henriksen, Hilmo, 2015].

Автор выражает искреннюю признательность сотрудникам ИБВВ РАН А. А. Боброву и Е. В. Чемерис за помощь в идентификации образцов и консультации, сотрудникам заповедника «Пасвик» — за организацию полевых работ и сотрудничество.

Работа выполнена в рамках государственного задания ПАБСИ КНЦ РАН по теме № 0229-2016-0001.

Литература

Значимые находки растений, лишайников и грибов на территории Мурманской области / А. В. Кравченко [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 7. С. 34–50.

Значимые находки растений, лишайников и грибов на территории Мурманской области. II / Е. А. Боровичев [и др.] / Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 1. С. 17–33.

Костина В. А. Сосудистые растения заповедника «Пасвик» (аннотированный список видов // Флора и фауна заповедников. Вып. 103. М., 2003. 43 с.

Кравченко А. В. Дополнения и уточнения к флоре сосудистых растений заповедника «Пасвик» (Мурманская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2009. № 2. С. 79–83.

Кравченко А. В., Кузнецов О. Л. Дополнения к флоре заповедника «Пасвик» // Труды Карельского научного центра РАН. Петрозаводск, 2016. № 1. С. 89–95.

Кравченко А. В. Новые данные о распространении сосудистых растений в заповеднике «Пасвик» и на смежных территориях Мурманской области // Труды Карельского научного центра РАН. 2011. № 2. С. 23–28.

Кравченко А. В. Флористические находки в Мурманской области // Бюлл. МОИП. 2014. Т. 119. Вып. 3. С. 62–63.

Красная книга Мурманской области / отв. ред. Н. А. Константинова и др. Изд. 2-е. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.

Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / МПР РФ; Росприроднадзор; РБО; МГУ им. М. В. Ломоносова; сост. Р. В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий, 2000. 855 с.

Новые данные о распространении охраняемых видов сосудистых растений в Мурманской области / А. В. Кравченко [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 3. С. 84–89.

Поликарпова Н. В. Ландшафтная карта заповедника «Пасвик» как научная основа «Летописи природы»: дис. … канд. геогр. наук. М., 2006. 255 с.

Henriksen S., Hilmo O. The 2015 Norwegian Red List for Species [Norsk rødliste for arter 2015] / Norwegian Biodiversity Information Centre.Trondheim, 2015. Available at: http://www.artsdatabanken.no/Article/Article/134466.

Wiegleb G., Bobrov A. A., Zalewska-gałosz J. A taxonomic account of *Ranunculus* section *Batrachium* (Ranunculaceae) // Phytotaxa. 2017. Vol. 319. No. 1. P. 1–55.

Сведения об авторе

Кириллова Наталья Руслановна
младший научный сотрудник лаборатории Гербарий, куратор коллекции аборигенной флоры Мурманской области Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, Апатиты, Кировск; e-mail: knr81@mail.ru

Natalya R. Kirillova
Junior Researcher of Herbarium Laboratory, curator of the collection of aboriginal flora of the Murmansk region of N. A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Centre of the RAS, Apatity; e-mail: knr81@mail.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.005
УДК 502.65 (470.11):581.52:553.673

С. Б. Селянина, Е. Ю. Чуракова, Г. В. Михайлова, Т. И. Пономарёва
Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н. П. Лаверова РАН

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТЕНИЙ-ГИДРОФИТОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДЫ В ВОДОТОКАХ ПРИМОРСКОГО ЗАКАЗНИКА В РАЙОНЕ ДОБЫЧИ АЛМАЗОВ (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация

Исследован видовой состав растений-гидрофитов в нижнем течении семужье-нерестовой реки на территории Приморского заказника, вне официальной зоны воздействия алмазодобывающего предприятия (ГОК). Выявлено увеличение числа видов растений в сравнении с данными 1969–1970 гг. Впервые отмечены виды *Potamogeton filiformis, P. lucens, P. pectinatus* и инвазивный вид *Elodea canadensis*, находки которых в обследованном районе (65° с. ш., 40° в. д.) являются самыми северными из известных для Европейской равнины. С целью выявления источника минерализации водотока проведены модельные исследования фильтрационных характеристик прибрежных болотных экосистем для вариантов поверхностного и внутрипочвенного стока. Установлено взаимодействие минеральных частиц с органическим веществом торфяной залежи с образованием органоминеральных соединений, что способствует повышению мобильности минеральных частиц в водной среде и пролонгированному десорбционному эффекту. Опросы показали обеспокоенность местных жителей случаями окрашивания воды в реке, сокращением численности речных рыб и семги в период нереста. Фиксируемые изменения речных экосистем население связывает с деятельностью ГОКа.

Ключевые слова:

растения-гидрофиты, водно-болотные экосистемы, сапонит, минерализация вод, Приморский заказник, общественное мнение.

Svetlana B. Selyanina, Elena Yu. Churakova, Galina V. Mihajlova, Tamara I. Ponomareva
N. P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of Russian Academy of Sciences

CHARACTERISTICS OF AQUATIC PLANTS AND WATER INDICATORS IN THE WATER COURSES OF THE PRIMORSKY SANCTUARY IN THE DIAMOND PRODUCTION AREA (ARKHANGELSK REGION)

Abstract

The species composition of aquatic vascular plants in the lower reaches of the salmon-spawning river is investigated. The river runs through the territory of the Primorsky Sanctuary (Zakaznik), outside the official zone of impact of the diamond mining enterprise. A higher number of plant species in comparison with the data of 1969–1970 was revealed. The *species Potamogeton filiformis, P. lucens, P. pectinatus* and the invasive species *Elodea canadensis* were noted for the first time, the findings of which in the surveyed area (65° N, 40° E) are the northernmost known for the European Plain. To identify the source of the mineralization of the watercourse, model studies of the filtration characteristics of the coastal bog ecosystems for surface and subsoil runoff have been carried out. The interaction of mineral particles with the organic matter of a peat deposit with the formation of organomineral compounds has been established, which contributes to increased mobility of mineral particles in the aquatic environment and a prolonged desorption effect. Surveys have shown local residents' concern over the staining of water

in the river and the decline in river fish and salmon during spawning. The population associates the recorded changes in river ecosystems with the activities of the mining and processing enterprise.
Keywords:
aquatic vascular plants, wetland ecosystems, saponite, water mineralization, Primorsky Sanctuary *(Zakaznik), public opinion.*

Введение

Потребности экономики создают во многих странах необходимость осуществления недропользования в непосредственной близости от особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [Using reference…, 2019]. В России пользователь недр после получения соответствующих разрешений от государственных органов приступает к работам, часто не имея жестких экологических ограничений. В связи с этим мониторинг состояния ООПТ вблизи районов недропользования является актуальным для планирования мероприятий по рекультивации нарушенных экосистем и предотвращения их необратимых изменений.

Деятельность ПАО «Севералмаз» по добыче алмазов открытым способом на севере Архангельской обл. вблизи Приморского государственного ландшафтного заказника регионального значения (далее — Приморский заказник) сертифицирована и признана экологически безопасной. Мониторинг ведется непосредственно у границ зоны воздействия ГОКа [Годовой отчет..., 2017]. Тем не менее последствия добычи алмазов открытым карьерным способом в верховьях р. Зимняя Золотица, которая является нерестовой для семги и других видов рыб и основным источником воды для жителей поморских деревень, вызывают опасения. Начало горных работ в 2003 г. сопровождалось негативным прогнозом в средствах массовой информации и представлениями, что к 2009 г. на территории заказника будет «мертвая флора и фауна», «охотничьи угодья будут ликвидированы, река превратится в русло для отходов, ягоды, грибы исчезнут» [Общественность..., 2007]. В настоящее время Приморский заказник не утратил рекреационной привлекательности: в летний период количество жителей в населенных пунктах увеличивается в 2–3 раза за счет горожан; круглогодичное функционирование автодороги, связывающей вахтовый поселок ГОКа с областным центром, обеспечивает приток рыбаков и охотников.

В последние годы выполнены исследования влияния деятельности ГОКа на состояние р. Зимняя Золотица в зоне воздействия комбината за пределами заказника. Оценено содержание радионуклидов в донных осадках [Distribution..., 2019] и изменение химического состава речных вод, в частности, в верховьях реки зафиксирована повышенная минерализация воды [Malov, 2018]. На территории Приморского заказника таких исследований не проводили, однако в 1969–1970 гг. сотрудники и студенты ЛГУ (ныне — СПбГУ) изучали конкретную флору «Зимняя Золотица» [Добровольская, 1971; Шмидт, 2005; гербарий СПбГУ (LECB)]. Основываясь на этих материалах, мы повторно исследовали состав водных сосудистых растений-гидрофитов [Распопов, 1985; Папченков, 2003] в низовьях р. Зимняя Золотица. Большинство мониторинговых исследований видового разнообразия гидрофитов связаны с оценкой влияния эвтрофикации вод и их загрязнения тяжелыми металлами и пестицидами; работы по влиянию раскисления и минерализации вод практически отсутствуют [Ecological..., 2004; Evaluating…, 2006; Using aquatic…, 2008].

Цель исследования заключалась в выявлении изменений состояния природных комплексов р. Зимняя Золотица вне зоны непосредственного воздействия алмазодобывающего предприятия.

Как показали исследования водотоков Европы после принятия Водной Рамочной Директивы ЕС (Water Framework Directive) в 2000 г., видовой состав гидрофитов может быть использован для оценки экологического состояния водных объектов [Using aquatic…, 2008; Macrophyte..., 2018]. Дополнительно мы провели социологические опросы населения на тему возможного проявления изменений состояния природных комплексов р. Зимняя Золотица и выполнили модельный эксперимент по поступлению сапонитсодержащей суспензии в водоток как в результате аварийных сбросов, так и в соответствии с технологическим циклом — через поля фильтрации (верхний слой торфа верховых сфагновых болот).

Объекты и методы

Исследования проводили на территории Приморского заказника — одной из самых крупных ООПТ на севере материковой части Архангельской обл. (рис. 1).

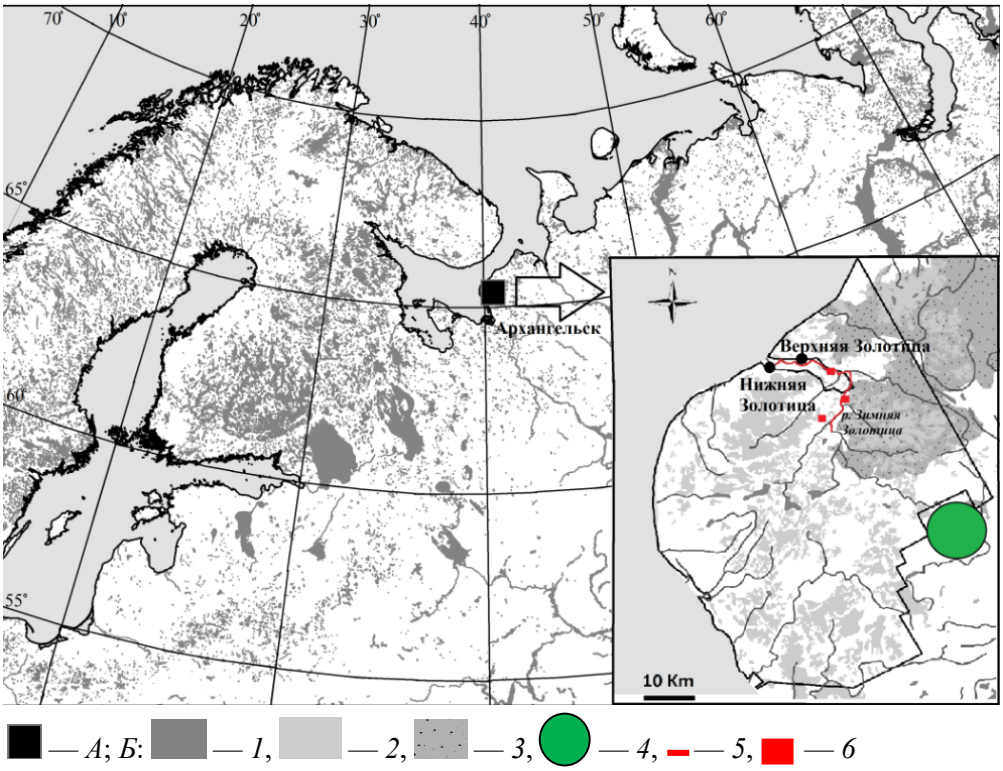


Рис. 1. Карта-схема района исследований:
А — расположение Приморского природного ландшафтного заказника; *Б* — район исследования на ООПТ (ограничен черным контуром); *1* — озера; *2* — верховые сфагновые болота; *3* — вторичные березовые леса на месте вырубок и гарей; *4* — месторождение алмазов и объекты инфраструктуры ГОК; *5* — район флористических исследований; *6* — точки находок вида *Elodea canadensis*

Основными охраняемыми природными объектами здесь являются старовозрастные леса и семужье-нерестовые реки, самая крупная из которых — Зимняя Золотица. Хозяйственная деятельность в заказнике ограничена и регламентируется положением, утвержденным Постановлением главы Администрации Архангельской обл. № 218 от 29.12.2004. На северной границе заказника, в низовьях р. Зимняя Золотица, располагаются две поморские деревни с общей численностью населения около 250 человек, сохранившего традиционный уклад жизни и тип природопользования. Вблизи южной границы, в верхнем течении реки, функционирует алмазодобывающее предприятие. Основные факторы его прямого воздействия на окружающую среду — понижение уровня грунтовых вод и изменение гидрологического режима территории, поступление в русло р. Зимней Золотицы вод с хвостохранилищ, а также карьерных вод (более 5100 $м^3$/час). Сбрасываемые воды, содержащие сапонит, проходят естественную очистку на полях фильтрации (верховых сфагновых болотах).

Сбор образцов растений проводили в конце августа — начале сентября 2018 г. маршрутным методом. Выявленные виды делили на три категории:

1) встречаются редко (отмечены в 1–2 точках, не образуют крупных зарослей);

2) встречаются нечасто (отмечены в 3–4 точках, могут образовывать заросли площадью не менее 10 $м^2$);

3) встречаются часто, или обычные (в 5 точках и более, могут формировать крупные заросли).

Собранные образцы хранятся в Архангельском научном гербарии (AR) и гербарии БИН РАН (LE).

Материалом для ретроспективного анализа стали результаты изучения конкретной флоры «Зимняя Золотица» в 1969–1970 гг. [Добровольская, 1971; Шмидт, 2005]. Для этих видов частота встречаемости дана, по-видимому, на основе сохранившегося конспекта конкретной флоры и экспертной оценки коллекторов. Цитируемые гербарные образцы также хранятся в AR.

Процесс поступления сапонитсодержащей суспензии моделировали в лабораторных условиях: 1 — непосредственно в водоток; 2 — через поля фильтрации. Устойчивость к седиментации и раскисляющее действие водной суспензии сапонита оценивали на 5-е сутки отстаивания по изменению оптической плотности модельных вод различной концентрации, измеренной на УФ-спектрофотометре [Ходаков, Юдкин, 1980] и по величине pH (актуальная кислотность). Модельные смеси готовили на основе суспензии с содержанием сухого вещества 19,3 %, отобранной на ГОКе. Соотношение суспензии и болотной воды варьировали в пределах от 1:250 до 1:2000.

В качестве модели полей фильтрации использовали емкости, заполненные верховым торфом в его ненарушенном состоянии. Через слой торфа пропускали болотную воду с добавлением сапонита в количестве 0,1 %, выбранном по результатам моделирования работы прудов-отстойников хвостохранилища ГОК. В фильтрате в течение 5 суток контролировали pH и электропроводность. Скорость фильтрации поддерживали таким образом, чтобы суточный объем фильтрата был равен объему опытного образца торфа.

Оценку населением возможных изменений состояния природных комплексов реки анализировали по результатам анкетного опроса и интервью. В опросе приняли участие 32 местных жителя — мужчины и женщины в возрасте от 20 до 66 лет. Экспертные интервью учитывали опыт и знания представителей

органов муниципальной власти, руководства рыболовецкого колхоза, активных природопользователей — рыбаков, охотников и старожилов (всего 6 человек). Проводили групповые интервью в форме дискуссии (фокус-группы) с представителями системы образования, природопользователями, пенсионерами. Все участники (14 чел.) могли свободно общаться друг с другом и выражать свои мысли и эмоции [Епархина, 2013].

Результаты и обсуждение

Разнообразие растений-гидрофитов.

В нижнем течении р. Зимняя Золотица в 1969–1970 гг. было выявлено 14 видов гидрофитов [Добровольская, 1971], в 2018 г. — 16 видов. Абсолютное большинство видов найдено нами повторно, за исключением *Myriophyllum spicatum* и *Persicaria amphibian* (не выявлены). Список пополнен тремя видами рода *Potamogeton* (*P. lucens*, *P. filiformis*, *P. pectinatus*) и видом *Elodea canadensis*, который является инвазивным. Аннотированный список водных сосудистых растений низовий р. Зимняя Золотица (всего 18 видов, в алфавитном порядке) представлен ниже. Для видов, отмеченных только 1–2 раза, приведены этикеточные данные.

Elodea canadensis Michx. (рис. 2 *а*) — отмечен в трех точках: 65.66507°N, 40.473984°E, заросли площадью около 20 м² в русле в заводи, песок, глубина 1,5–2 м, 29.VIII.2018, № 10090; 65.66507°N, 40.473984°E, заросли около 10 м^2, песок, глубина 1 м и вне долины реки; 65.63085°N, 40.47920°E, оз. Светлое, обширные заросли на песчаном дне, глубина около 1 м.

Batrachium trichophyllum (Chaix) Bosch — [Добровольская, 1971], редко; исследование 2018 г., редко, ниже дер. Верхняя Золотица, 65.69287°N, 40.22169°E, на участке с песчаным дном в протоке между островами, глубина около 30 см, 28.VIII.2018, № 10092.

Hippuris vulgaris L. — [Добровольская, 1971], обычен; исследование 2018 г., обычен, пойменные старичные озерки, протоки ниже дер. Верхняя Золотица, илистый и илисто-каменистый грунт.

Lemna trisulca L. — [Добровольская, 1971], обычен; исследование 2018 г., обычен, встречается довольно часто выше дер. Верхняя Золотица, в ямах под берегом, на участках с быстрым течением и на перекатах среди побегов *Fontinali santipyretica*.

Myriophyllum spicatum L. — [Добровольская, 1971], обычен; исследование 2018 г., встречен в двух озерах на водораздельной территории, не отмечен в русле реки.

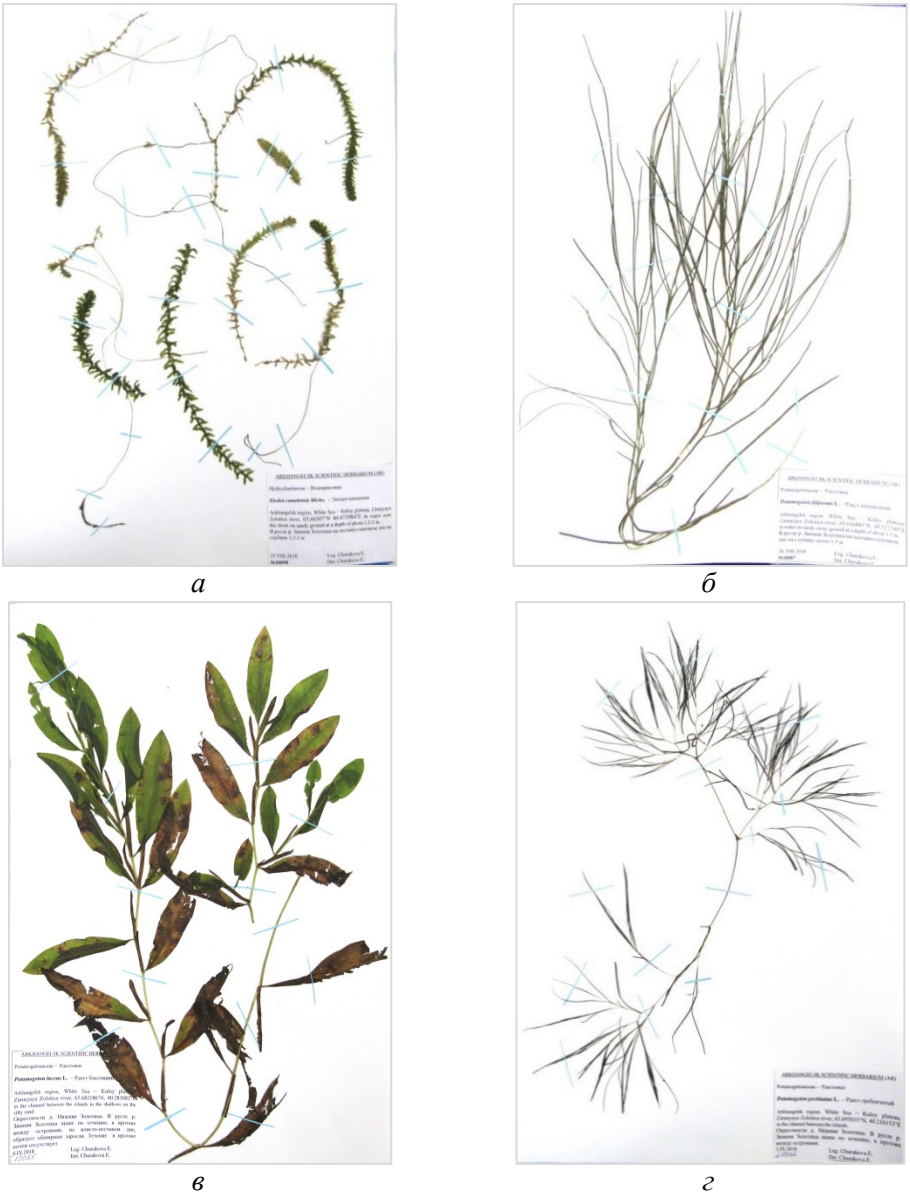
Nuphar lutea (L.) Sm. — [Добровольская, 1971], обычен; исследование 2018 г., в старицах и расширениях проток на участке русла между деревнями Верхняя и Нижняя Золотица.

Nymphaea candida C. Presl — [Добровольская, 1971], обычна; исследование 2018 г.(единственная находка), 65.68158°N, 40.27700°E, ниже дер. Верхняя Золотица, в заводи у берега, 28.VIII.2018, № 10070.

Persicaria amphibia (L.) Delarbre — [Добровольская, 1971], обычна; исследование 2018 г., в р. Зимняя Золотица не отмечена; встречается в озерах вне долины реки.

Potamogeton alpinus Balb. — [Добровольская, 1971], редко; исследование 2018 г., нечасто,в основном в ямах под берегом.

Potamogeton filiformis Pers. (рис. 2 *б*) — нечасто, в русле реки на участках с песчано-каменистым или илисто-каменистым грунтом.



а *б* *в* *г*

Рис. 2. Гербарные образцы видов, ранее не указанных для р. Зимняя Золотица:
а — Elodea canadensis; *б — Potamogeton filiformis*; *в — P. lucens*; *г — P. pectinatus*

Potamogeton friesii Rupr. — [Добровольская, 1971], редко; исследование 2018 г., редко, отмечен дважды: 65.648262°N, 40.531588°E, в русле реки на участке с песчано-галечным дном на глубине около 1,5 м, 27.VIII.2018, № 10089; 65.636885°N, 40.522340°E, в яме с песчано-галечным дном на глубине около 1,5 м, 26.VIII.2018, № 10088.

Potamogeton gramineus L. — [Добровольская, 1971], обычен; исследование 2018 г., обычен, в спокойной воде проток, образует обширные заросли.

Potamogeton lucens L. (рис. 2 *в*) — обычен на участке русла между деревнями Верхней и Нижней Золотицей, в протоках между островами, на участках с очень слабым течением, на илисто-песчаном дне, образует обширные заросли.

Potamogeton natans L. — [Добровольская, 1971], довольно часто; исследование 2018 г., редко, 65.685721°N, 40.251343°E, вместе с *P. gramineus* ниже дер. Верхняя Золотица, в протоке между островом и основным берегом, 1.IX.2018, № 10098.

Potamogeton pectinatus L. (рис. 2 *г*) — редко, окрестности дер. Нижняя Золотица, 65.693035°N, 40.216153°E, в протоке между островами у берега на участке с илистым грунтом, глубина менее 0,5 м, 1.IX.2018, № 10076.

Potamogeton perfoliatus L. — [Добровольская, 1971], обычен; исследование 2018 г., редко, 65.687526°N, 40.273989°E, выше по течению дер. Нижняя Золотица, в узкой протоке между левым берегом и островом, в медленно текущей воде на песчаном дне, 1.IX.2018, № 10078.

Sparganium angustifolium Michx. — [Добровольская, 1971], обычен; исследование 2018 г., обычный вид, чаще всего растет узкой полосой вдоль берега, на песчаных и каменистых грунтах.

Utricularia vulgaris L. — [Добровольская, 1971], нечасто; исследование 2018 г., редко, 65.66037°N, 40.51454°E, старичное озерко с *Calla palustris* и *Hippuris vulgaris,* 24.VIII.2018, № 10099.

Наши находки этих видов являются первыми, которые зафиксированы на Европейском Севере России, что может быть обусловлено как глобальными климатическими изменениями последних десятилетий, так и, дополнительно, раскислением и минерализацией вод в результате деятельности алмазодобывающего предприятия. Последний факт установлен для верховий р. Зимняя Золотица [Malov, 2018]. Обмеление реки и поступление в ее русло больших объемов грунтовых вод, возможно, также влияет на температурный режим вод, что подтверждается результатами опроса населения, наблюдениями за процессами ледостава и ледохода на реке.

Для двух из четырех вновь выявленных видов — *Elodea canadensis* и *Potamogeton lucens* — на некоторых участках русла р. Зимняя Золотица отмечены довольно крупные заросли. Элодея является инвазивным видом и была отмечена нами не только в русле и старичных озерах Золотицы, но и в одном из водораздельных озер (рис. 1). Расселение элодеи может негативно сказаться на разнообразии гидробионтов в водоемах этой части заказника. В водотоках умеренной полосы этот инвазивный вид способен активно вытеснять аборигенные растения из характерных для них мест обитания, образуя густые заросли с низкой светопроницаемостью, а также оказывать на растения аллелопатическое влияние [Виноградова и др., 2009; Мальцева, Бобров, 2017]. Ближайшие точки находок *E. canadensis* ранее были зарегистрированы в бассейнах Северной Двины и Пинеги. Ни для одной из шести конкретных флор Беломорско-Кулойского плато, описанных в 1960–1980-е гг., этот вид не указывался [Постовалова, 1966; Шмидт, 2005]. В реках, верховья которых находятся в зоне непосредственного воздействия ГОКа, вселение и крупные заросли элодеи впервые были отмечены нами в 2014 г. на реке Светлая, 65.08628° N, 41.12178° E.

В исследованиях Т. Г. Добровольской [1971] большинство видов (9, или 64 % от общего числа) относились к категории часто встречающихся или обычных, редкими были 3 вида (21 %) — *Batrachium trichophyllum, Potamogeton alpinus* и *P. friesii.* В 2018 г. это соотношение изменилось: к обычным мы причислили 6 видов (38 %), к редким — 7 (44 %). С более низкой частотой в сравнении с предыдущим периодом наблюдений встречались *Myriophyllum spicatum, Nymphaeacandida*, *Persicaria amphibia*, *Potamogetonnatans*, *P. perfoliatus*. Как правило, эти гидрофиты произрастают в слабоминерализованных водах. Напротив, виды, вновь зафиксированные в 2018 г., — *Elodea canadensis, Potamogeton lucens*, *P. filiformis* и *P. pectinatus* — чаще встречаются в водоемах с повышенной минерализацией и жесткостью вод, к тому же являются теплолюбивым и севернее 65° с. ш. становятся редкими или исчезают [Бобров, Чемерис, 2009].

Исследование фильтрационных характеристик прибрежных болотных экосистем в модельном опыте.

Результаты моделирования процесса поступления сапонитсодержащей суспензии поверхностным способом — непосредственно в водоток — показали зависимость величины оптической плотности и кислотности болотной воды от добавления сапонитсодержащей суспензии (табл.).

Характеристики модельных растворов на пятые сутки исследования

Соотношение сапонит / болотная вода	Актуальная кислотность, pH	Оптическая плотность, *D* при длине волны, λ		Коэффициент Шпрингера E4/E6
		465 нм	665 нм	
Болотная вода	3,56	0,276	0,095	2,91
1/2000	3,86	0,390	0,111	3,51
1/500	4,33	0,526	0,151	3,48
1/250	4,82	0,626	0,179	3,50

Понижение актуальной кислотности (повышение pH) происходило уже на коротких сроках наблюдения, а рост оптической плотности болотной воды в 1,2–1,5 раза — при незначительном добавлении сапонита (при соотношении сапонита и болотной воды 1/2000, что соответствует концентрации суспензии менее 0,01 %) и седиментации взвешенных частиц в статических условиях в течение 5 суток. Добавление сапонита вызывало пропорциональное увеличение показателя *D*, несмотря на достаточно продолжительное отстаивание. Коэффициент Шпрингера болотной воды возрастал в присутствии сапонита, но не зависел от его количества, что объясняется образованием устойчивых к седиментации органоминеральных ассоциатов. Это обеспечивает транзит минеральных частиц, связанных с органическим веществом болотных вод, их аккумуляцию в донных отложениях и наилках и последующий пролонгированный характер десорбции.

При очистке сбрасываемых вод на полях фильтрации, несмотря на высокую буферную способность торфа, наблюдалось раскисление и небольшое повышение общей минерализации по сравнению с природным фоном. Во втором модельном

эксперименте величина pH болотной воды с добавлением сапонита составила 7,4 ± 0,05, а электропроводность, обусловленная общей минерализацией, — 87,6–88,7 мкСм. В фильтрате, отобранном через 4 часа после начала модельного опыта, величина pH снизилась до 3,7–3,9 единиц, электропроводность — до 44,6–57,7 мкСм. Через 5 суток эти показатели изменились до значений 4,1–4,3 и 20,4–23,9 мкСм соответственно.

Таким образом, по данным лабораторного моделирования прослежено раскисляющее действие сапонитов. Это подтверждает результаты предыдущих исследователей [Искусственные..., 2011; Structure..., 2015].

Изменения состояния природных комплексов реки в восприятии населения.

Участники интервью и фокус-групп рассказали: о фактах обмеления реки и снижения уровня грунтовых вод в целом, наблюдаемых с 1970-х гг.; об изменении характера грунтов в нижнем течении реки с 1980-х гг.; о смещении сроков ледостава и ледохода (быстрое стаивание льда в весенний период) в последние годы; о трех за последние 8 лет случаях, когда наблюдалось выраженное окрашивание воды в русле реки в красный цвет. По мнению рыбаков, из-за ухудшения состояния воды семга перестала заходить в р. Зимняя Золотица на нерест, уменьшилась численность отдельных видов речных рыб. Опрос показал, что до организации Приморского заказника в 2004 г. основным фактором воздействия на экосистему реки была сопровождавшаяся молевым сплавом лесозаготовка и сельское хозяйство. Изменения, наблюдаемые в последние годы, местные жители связывают с деятельностью ГОКа.

Заключение

В низовьях р. Зимняя Золотица выявлено 18 видов сосудистых растений-гидрофитов, из которых 14 отмечены повторно после 1969–1970 гг. и 4 указаны впервые не только для водотоков Приморского заказника, но и для Европейского Севера России. На фоне увеличения видового разнообразия гидрофитов наблюдалось снижение доли часто встречающихся и рост доли редких видов. Частота встречаемости и обилие видов водных растений, как правило, подвержены значительной разногодичной динамике. Для нижнего течения р. Зимняя Золотица в 2018 г., если сравнивать с 1969–1970 гг., это не носит катастрофического характера и может быть обусловлено как глобальными климатическими процессами, так и локальными факторами, связанными с деятельностью алмазодобывающего предприятия, прежде всего с изменением кислотности и ростом минерализации вод. Опасения вызывает появление инвазивного высококонкурентного гидрофита — элодеи *Elodea canadensis*.

Выявленное путем лабораторного моделирования раскисляющее действие сапонита в совокупности с его способностью препятствовать седиментации взвешенного вещества может быть причиной устойчивого изменения химических показателей вод и грунтов даже при разовых, периодически повторяющихся сбросах. Буферная способность верховых болот, используемых в качестве полей фильтрации, недостаточна и снижается за счет изменения сорбционной способности торфа под воздействием сапонита.

Население крайне обеспокоено случаями периодического окрашивания воды в реке, сокращением численности семги во время нереста, уменьшением численности речных рыб и связывает эти негативные факты с деятельностью ГОК. Представляется целесообразным проведение дальнейших мониторинговых

мультидисциплинарных исследований на р. Зимняя Золотица, а также организация аналогичных работ на реках, не подверженных воздействию предприятий алмазодобычи. Это позволит разграничить наблюдаемые изменения видового состава гидробионтов, которые обусловлены промышленной деятельностью или связаны с глобальными климатическими процессами.

Благодарности

Выражаем благодарность: В. В. Ануфриеву за организацию экспедиционных работ; научному сотруднику Северо-Западного отделения Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН Д. С. Мосееву за помощь в идентификации гидрофитов; доценту кафедры ботаники СПбГУ В. А. Бубыревой за помощь в поиске первичных материалов по исследованию конкретной флоры «Зимняя Золотица».

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60151 «Арктика») и Минобрнауки РФ (темы № АААА-А17-117122990042-2, № АААА-А18-118012390224-1).

Литература

Бобров А. А., Чемерис Е. В. Рдесты (*Potamogeton*, *Potamogetonaceae*) в речных экосистемах на севере европейской России // Доклады Академии наук. 2009. № 425 (5). С. 705–708.

Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России. Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М.: ГЕОС, 2009. 501 с.

Годовой отчет ПАО «Севералмаз» за 2017 год. URL: http://www.severalmaz.ru/investoram/godovye-otchety/ (дата обращения: 19.04.2020).

Добровольская Т. Г. Материалы к анализу конкретной флоры окрестностей села Верхняя Золотица Приморского района Архангельской области [дипл. работа / рук. А. И. Толмачев]. Л., 1971. 71 с.

Епархина О. В. Социология общественного мнения. М.: Академия, 2013. 240 с.

Искусственные почвогрунты из отходов обогащения кимберлитовой руды / И. В. Тельминов [и др.] // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 646–652.

Мальцева С. Ю., Бобров А. А. Чужеродные виды сосудистых растений Рыбинского водохранилища (Верхняя Волга, Россия) // Российский журнал биологических инвазий. 2017. № 4. С. 321–326.

Общественность требует от «Севералмаза» экологической прозрачности Ломоносовского месторождения // ИА «РУСНОРД». 2007. URL: http://rusnord.ru/oldnews/10151-24348.html (дата обращения: 19.04.2020).

Папченков В. Г. О классификации растений водоемов и водотоков // Гидроботаника: методология, методы: материалы Школы по гидроботанике. Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2003. С. 23–27.

Постовалова Г. Г. О нахождении *Elodea canadensis* Mich. в Архангельской области // Ботан. журн. 1966. Т. 51. № 3. С. 408–409.

Распопов И. М. Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1985. 197 с.

Ходаков Г. С., Юдкин Ю. П. Седиментационный анализ высокодисперсных систем. М.: Наука, 1980. 344 с.

Шмидт В. М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 346 с.

Distribution and environmental hazard parameters of radionuclides in river sediments and rocks in the Lomonosov diamond deposit area (NW Russia) / E. Yu. Iakovlev [et al.] // Envira 2019: 5th International Conf. on Environmental Radioactivity: Book of Abstracts. Prague, 2019. P. 28.

Ecological classification of macrophytes and phytobenthos for rivers in Germany according to the water framework directive / J. Schaumburg [et al.] // Limnologica. 2004. Vol. 34 (4). P. 283–301. DOI: 10.1016/S0075-9511(04)80002-1.

Evaluating the necessity of additional aquatic plant testing by comparing the sensitivities of different species / M. Vervliet-Scheebaum [et al.] // Hydrobiologia. 2006. Vol. 570. P. 231–236. DOI: 10.1007/s10750-006-0185-1.

Macrophyte assessment in European lakes: Diverse approaches but convergent views of "good" ecological status / S. Poikane [et al.] // Ecological Indicators. 2018. Vol. 94. P. 185–197. DOI: 10.1016/j.ecolind. 2018.06.056.

Malov A. I. Transformation of the chemical composition of surface waters in the area of the exploited Lomonosov diamond deposit (NW Russia) // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. P. 33620–33636. DOI: 10.1007/s11356-018-3308-0.

Structure and properties of quaternary fulvic acid-untercalated saponite/poly (lactic acid) nanocomposites / W. Wang [et al.] // Applied Clay Science. 2015. Vol. 109–110. P. 136–142. DOI: 10.1016/j.clay.2015.02.033.

Using aquatic macrophyte community indices to define the ecological status of European lakes / W. E. Penning [et al.] // Aquat. Ecol. 2008. Vol. 42 (2). P. 253–264.

Using reference sites to guide ecological engineering and restoration of an internationally significant uranium mine in the Northern Territory, Australia / P. D. Erskine [et al.] // Ecological Engineering. 2019. Vol. 129. P. 61–70. DOI: 10.1016/j.ecoleng. 2019.01.008.

Сведения об авторах

Селянина Светлана Борисовна
кандидат технических наук, зав. лабораторией, ведущий научный сотрудник лаборатории болотных экосистем Института экологических проблем Севера ФИЦ КИА РАН, Архангельск; e-mail: gumin@fciarctic.ru

Чуракова Елена Юрьевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоресурсов и этнографии Института биогеографии и генетических ресурсов ФИЦ КИА РАН, Архангельск; e-mail: alex0000001@yandex.ru

Михайлова Галина Викторовна
кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоресурсов и этнографии Института биогеографии и генетических ресурсов ФИЦ КИА РАН, Архангельск; e-mail: g.mikhaylova@fciarctic.ru

Пономарёва Тамара Игоревна
младший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем Института экологических проблем Севера ФИЦ КИА РАН, Архангельск; e-mail: ponomtamara@gmail.com

Svetlana B. Selyanina
PhD (Engineering), Head and Senior Scientific Researcher of the Wetland Ecosystems Laboratory of Institute of the Ecological Problems of the North FCI Arctic RAS, Arkhangelsk; e-mail: gumin@fciarctic.ru

Elena Y. Churakova
PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Bioresources and Ethnography FCI Arctic RAS, Arkhangelsk; e-mail: alex0000001@yandex.ru
Galina V. Mihajlova
PhD (Pedagogical Sciences), Senior Researcher of the Laboratory of Bioresources and Ethnography FCIArctic RAS, Arkhangelsk; e-mail: g.mikhaylova@fciarctic.ru
Tamara I. Ponomareva
Junior Researcher of the Wetland Ecosystems Laboratory of Institute of the Ecological Problems of the North FCIArctic RAS, Arkhangelsk; e-mail: ponomtamara@gmail.com

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.006
УДК 582.272: 574.586 (470.2:556.53)

С. Ф. Комулайнен
Институт биологии ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук»

ФИТОПЕРИФИТОН РЕК МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ: СТРУКТУРА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ МОНИТОРИНГЕ

Аннотация

В составе фитоперифитона 44 рек Мурманской обл. известно 382 вида водорослей. Большинство видов типичны для олиготрофных холодноводных водоемов. Среди видов-индикаторов сапробности преобладают олиго- и олиго-бета-формы, что указывает на незначительную антропогенную нагрузку на большинство водотоков. Обсуждаются основные принципы изменения структуры и функционирования фитоперифитона. Выявлены черты сходства таксономического состава и структуры речных экосистем, особенно доминирующих видов, а также близкие средние значения биомассы. Доминантный комплекс представлен небольшим набором видов, устойчивых к динамической нагрузке воды. В эколого-географических спектрах водорослей отмечено преобладание широко распространенных олигогалобных видов, алкалифильных, или индифферентных по отношению к pH среды. Показана зависимость изменения количественных показателей и пространственной динамики структурных характеристик фитоперифитона от гидрологического режима рек. Оценена информативность определения концентрации тяжелых металлов в водорослях для экологического контроля.

Ключевые слова:
реки, фитоперифитон, таксономия, экология, мониторинг, Мурманская обл.

Sergey F. Komulaynen
Institute of biology Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences

PHYTOPERIPHYTON IN RIVERS OF MURMANSK REGION: STRUCTURE AND USE IN MONITORING

Abstract

The phytoperiphyton species composition of 44 rivers of Murmansk Region was found to include 382 species. Most of the mass algae species determined are typical of cold water oligotrophic basin. Most saprobity-indicator species are oligo-, oligo-beta- forms, suggesting that human activities do not have a considerable impact on the water bodies. We also assess how informative is the heavy metal concentrations in algae for environmental control. The paper is discussed the main principles of the changes in a structure and functioning of phytoperiphyton communities in rivers. Based on the analysis of taxonomic composition and structure of phytoperiphyton in river ecosystems the similarity features in community

composition, particularly dominants and close average biomass values were revealed. Dominant complex is represented by moderate range of species being resistant to dynamic water load. It is indicated that ecologo-geographical composition of algae is dominated by widespread oligohalobial species being alkaliphilic or indifferent to medium pH. Dependence of changes in quantitative parameters and spatial dynamics of structure properties of phytoperiphyton on river hydrological regimen is demonstrated.
Keywords:
rivers, phytoperiphyton, taxonomy, ecology, monitoring, Murmansk Region.

Введение

Антропогенная трансформация водных экосистем стала повсеместным явлением. Она затронула и водотоки Мурманской обл. [Доклад…, 2018]. Разработка системы водоохранных и восстановительных мероприятий возможна только на основе экологического мониторинга. Для его успешного проведения требуется выбор организмов и их сообществ, типичных для исследуемой экосистемы и четко реагирующих на происходящие изменения.

Водоросли — наиболее чувствительный элемент водных экосистем, определяющий структуру и функционирование всех ее составляющих. Интерес к изучению водотоков Мурманской обл. связан также с тем, что среди них есть горные реки. Их морфометрия, гидрологический и гидрохимический режим, а также структура и динамика гидробиоценозов заметно отличаются от других рек Восточной Фенноскандии. Альгологические исследования на территории Мурманской обл. проводятся с середины XIX в. [Каган, Денисов, 2002; Komulaynen, 2007; Яковлев, Кашулин, 2012; История..., 2019], однако для многих водоемов и водотоков инвентаризация альгофлоры и анализ структуры альгоценозов все еще актуальны. Выбор фитоперифитона в качестве объекта исследований обусловлен тем, что он свободен от кратковременного влияния случайных локальных изменений [Stevenson, Smol, 2003], а его структурные характеристики представляются информативными при решении теоретических и прикладных задач типизации водоемов и проведении мониторинга [Kelly, 2013].

Целью настоящей работы было выявление особенностей структуры фитоперифитона в водотоках Мурманской обл. и определение возможности оценки уровня антропогенной нагрузки по ее изменению.

Материалы и методы

Пронализированы пробы фитоперифитона, отбранные по стандартной методике [Комулайнен, 2003] в разные годы в 10 реках (Патсйоки, Колосйоки, Печенга, Титовка, Западная Лица, Ура, Кола, Кица, Рында, Иоконьга) бассейна Баренцева моря и 34 реках (Канда, Рябина, Пиренга, Нива, Лувеньга, Малая Белая, Белая, Порья, Вудъяврйок, Ловчоррйок, Умба, Умбалка, Айкуайвенйок, Вяла, Лямукса, Кузрека, Томинга, Индель, Пана, Кица, Юлица, Варзуга, Индера, Чаваньга, Стрельна, Югин, Чалома, Усть-Пялица, Пялица, Пулоньга, Лиходеевка, Качковка, Даниловка, Поной) бассейна Белого моря.

Большинство исследованных рек типичны для гидрографической сети Европейского Севера России [Ресурсы…, 1970]. Их водоразделы слабо выражены, с плоской заболоченной поверхностью. Реки имеют ступенчатый профиль. Порожистые участки мелководные, неширокие, со скоростью течения до 2–3 м/с. Грунты на плесах песчаные и песчано-галечные, часто заиленные; на порожистых участках и перекатах песчано-каменистые с большим количеством валунов и скал.

Реки Хибин протекают среди прочных кристаллических пород, слабо поддающихся выщелачиванию и размыву, в них течет преимущественно талая снеговая вода, они славятся бурным весенним разливом.

Реки по минерализации относятся к ультрапресным (∑и < 100 мг/л), имеют слабокислую реакцию (pH около 7). Содержание всех форм азотистых веществ в водах невысокое, нитратные ионы обычно отсутствуют. Подробная характеристика исследованных водотоков и их расположение приведены в более ранних статьях [Комулайнен, 1994, 1996, 2008, 2017, 2018; Комулайнен и др., 2007; Комулайнен, Генкал, 2009; Шаров и др., 2009]. Станции отбора проб были выбраны на участках, различающихся по морфометрии, гидрологическому режиму и уровню антропогенной нагрузки. На каждой станции, кроме качественных, отбирали 3–5 количественных проб в зависимости от разнообразия субстратов.

Водоросли определяли под микроскопом Olympus CX41 с цифровой камерой Espa (D30-D3Cplus) с использованием определителей для отделов Cyanophyta (Cyanobacteria) [Komárek, Fott, 1983; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Komárek, 2013], Bacillariophyta [Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991a,b], Chrysophyta [Starmach, 1985], Dinophyta [Киселев, 1954], Chlorophyta [Косинская, 1952, 1960; Паламарь-Мордвинцева, 1982, 1984; Мошкова, Голлербах, 1986; Рундина, 1998], Rhodophyta [Eloranta, Kwandrans, 2007], Euglenophyta [Попова, 1955]. В общее число таксонов включены некоторые нитчатые водоросли, находящиеся в стерильной стадии и определенные до рода: *Mougeotia* sp. ster., *Zygnema* sp. ster., *Bulbochaete* sp. ster. и *Oedogonium* sp. ster.

Для оценки роли отдельных таксонов в формировании группировок вычисляли частоту встречаемости (pF), частоту доминирования (DF), средневзвешенное относительное разнообразие видов (Spp, %), обилие по численности (*N*, %) и биомассе (*B*, %). Виды с долей ≥ 10 % в перифитоне конкретной реки и отдельных станций отнесены к доминирующему комплексу.

Стабильность структуры фитоперифитона определяли с использованием индексов видового разнообразия [Shannon, Weaver, 1963] и доминирования [Simpson, 1949], качество воды и их трофность — по методу Пантле и Бука [Pantle, Buck, 1955] с применением трофического диатомового индекса — TDI [Kelly, Whitton, 1995]. Экологическую принадлежность водорослей устанавливали, согласно работе С. С. Бариновой с соавторами [2006].

Одновременно с пробами фитоперифитона отбирали пробы воды для химического анализа, который включал определение основных параметров (цветность, содержание общего фосфора, электропроводность и pH) и был выполнен в лаборатории гидрохимии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН. Концентрацию тяжелых металлов в водорослях определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрофотометре AA-7000 фирмы “Shimadzu” (Япония) с пламенной атомизацией. Навеску абсолютно сухого растительного материала (0,5 г) разлагали в присутствии концентрированной азотной кислоты (HNO_3) в автоклавах микроволновой системы пробоподготовки со встроенными бесконтактными датчиками температуры и давления [Suomen Standardisoimisliitto…, 1990].

При кластерном анализе использовали данные о количестве видов, их относительной численности и концентрации тяжелых металлов в тканях

нитчатых водорослей *Zygnema* sp. Группирование рек проводили по алгоритму евклидовой дистанции методом Варда (Ward's method). Статистический анализ проводили с использованием пакетов программ Excel и Statistica.

Результаты и обсуждение

В перифитоне 44 исследованных рек выявлено 382 таксона водорослей (рангом ниже рода), относящихся к 100 родам, 45 семействам, 16 порядкам и 7 отделам: Cyanophyta — 74, Chrysophyta — 3, Dinophyta — 2, Bacillariophyta — 243, Euglenophyta — 3; Chlorophyta — 52, Rhodophyta — 5 [Комулайнен, 1994, 1996, 2008, 2017, 2018; Комулайнен и др., 2007; Комулайнен, Генкал, 2009; Шаров и др., 2009].

Структура фитоперифитона в исследованных реках отражает географическое положение их водосборов и одновременно зависит от высокодинамичных условий, характерных для порожистых рек и антропогенной нагрузки. В альгоценозах перифитона доминируют типичные прикрепленные виды, которые широко распространены в реках бореальной и субарктической зон [Комулайнен, 2016; Komulaynen, 2008, 2009].

Основа альгоценозов обрастаний сформирована относительно небольшим количеством видов. Максимальное видовое богатство отмечено в крупных реках региона (Кола, Ура, Умба, Нива, Варзуга) благодаря биотопическому разнообразию и обилию псевдоперифитонных (донных и планктонных) форм в обрастаниях. В результате эта группа рек четко выделяется при кластерном анализе. Второй кластер формируют горные водотоки Хибин и р. Колосйоки (рис. 1).

Размах колебаний численности водорослей в конце биологического лета (июль — август) в пробах достигал нескольких порядков: от $0{,}1 \cdot 10^4$ до $5300 \cdot 10^4$ кл/см^2, биомасса изменялась от 0,1 до 42,9 мг/см^2 субстрата. В целом во всех исследованных реках средние значения численности и биомассы были достаточно близкими. Минимальные значения были отмечены в р. Колосйоки и малых горных водотоках Хибин.

К доминирующим по численности отнесены 50 видов, или 13,3 %, от числа определенных. В реальности структуру фитоперифитона в реках определяет более ограниченное число видов, которые дают более 20 % от суммарной численности и биомассы фитоперифитона.

Согласно шкале галобности, подавляющее большинство водорослей относится к олигогалобам. Среди них преобладают индифференты (от 62,5 до 84,5 % от общего числа определенных видов перифитона рек). Галофилы и галофобы значительно менее разнообразны — 9,1 и 17,3 % от общего числа таксонов соответственно. Среди галофилов лишь *Epithemia turgida* доминировала в перифитоне. Наиболее характерными галофобными видами являются *Tabellaria fenestrata* и *T. flocculosa*, благодаря доминированию которых обилие галофобных видов в перифитоне большинства исследованных рек превышало 20 %.

Среди индикаторов pH среды в перифитоне также преобладают индифференты — 60 % таксонов. Алкали- и ацидофилы составляют 19,5 и 20,4 % соответственно. Алкалифилы представлены в основном диатомеями, из которых в состав доминирующего комплекса входят: *Fragilaria capucina, F. intermedia, F. virescens var. virescens, Synedra ulna, Ceratoneis arcus, Cocconeis placentula, Epithemia turgida*. Из ацидофилов встречены обычные обитатели болот

и торфяников — *Closterium, Euastrum, Cosmarium* и *Eunotia*. Доминантами альгоценозов обрастаний являются *Tabellaria fenestrata*, *T. flocculosa*, *Eunotia pectinalis, E. sudetica*.

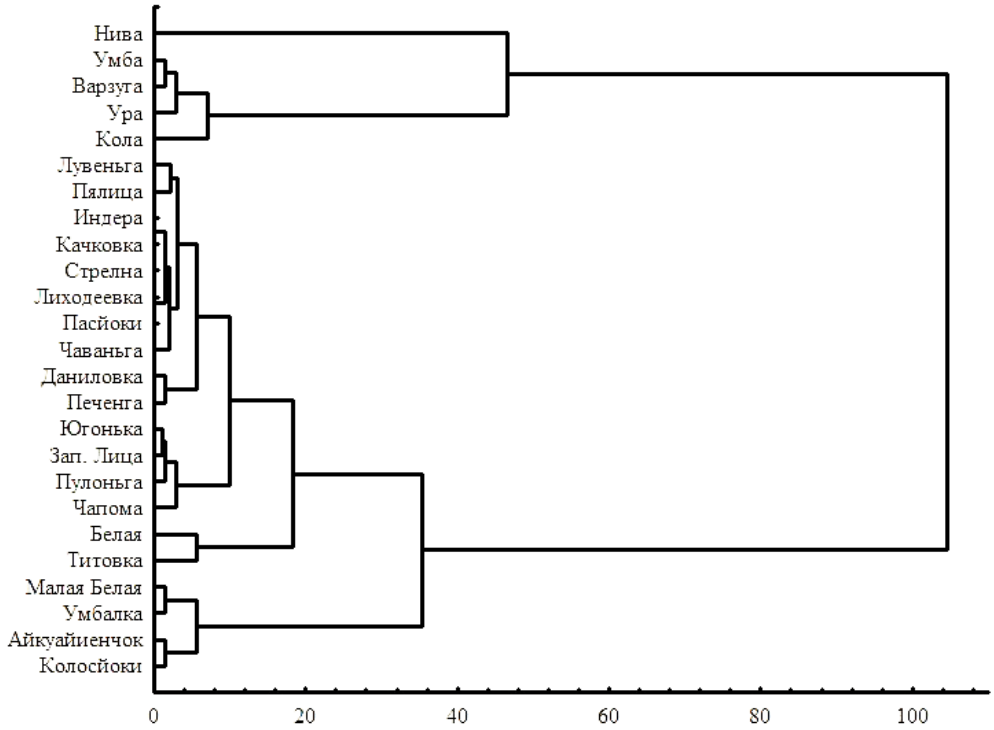


Рис. 1. Дендрограмма видового богатства фитоперифитона исследованных рек Мурманской обл. (Wards method)

Наши наблюдения проведены на реках, формирование и функционирование фитоперифитона в которых носит естественный характер. Среди встреченных в перифитоне водорослей-индикаторов сапробности наиболее разнообразно представлены β-мезосапробы. Основу доминирующего комплекса на большинстве станций составляют χ-олиго- и олигосапробные виды. Поэтому значения индекса Сладечека и трофического диатомового индекса (TDI), рассчитанные для альгофлоры рек в целом, изменяются соответственно от 0,6 до 2,1 и от 1,0 до 2,5. Это позволяет отнести воды исследованных рек к олигосапробной, т. е. условно чистой зоне.

Максимальные значения индексов трофности отмечены для рек Колосйоки и Белая, что отражается на структуре дендрограммы, в которой две эти реки формируют отдельный кластер (рис. 2).

Локальные изменения таксономической и эколого-географической структуры фитоперифитона, которые можно объяснить интенсификацией хозяйственной деятельности на водосборах, отмечены на отдельных участках в реках Кола (ниже г. Оленегорск, поселков Шонгуй и Кильдинстой), Ура (ниже оз. Килпъявр), в устье р. Нива и истоке р. Белая из оз. Большой Вудъявр. Диагностическим признаком формирующегося здесь фитоперифитона является

уменьшение обилия и встречаемости оксифильных диатомей и увеличение разнообразия широковалентных, толерантных к загрязнению видов. Отмечено увеличение количества мезогалобных и галофильных видов.

Наиболее заметные изменения в перифитоне наблюдаются в р. Колосйоки, где в сравнении с остальными реками выше разнообразие широковалентных и толерантных к загрязнению видов из родов *Diatoma, Gomphonema, Nitzschia* и *Navicula*. Увеличение обилия и разнообразия донных форм связано в первую очередь с заилением каменистого субстрата. Это снижает возможность для формирования «настоящего» перифитона. В альгоценозах увеличивается обилие и разнообразие донных форм из рода *Navicula*. Одновременно уменьшается доля водорослевого компонента в перифитоне, что характерно для альгоценозов в антропогенно измененных водоемах.

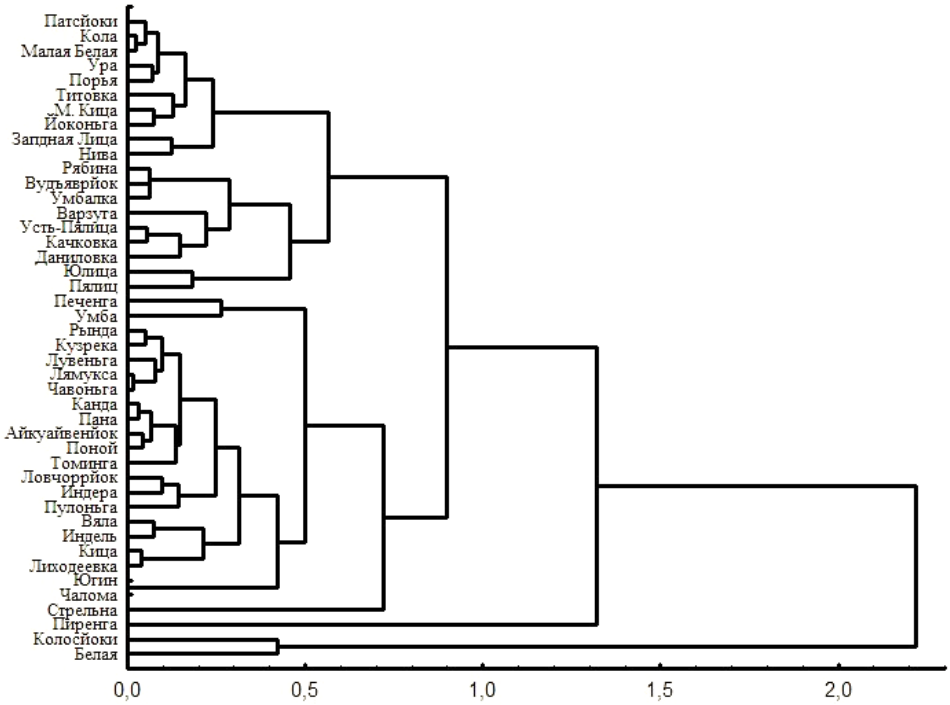


Рис. 2. Дендрограмма сходства фитоперифитона исследованных рек Мурманской обл. по значениям индексов сапробности

Показательным для фитоперифитона урбанизированных водоемов является увеличение концентрации тяжелых металлов (ТМ). Присутствие ТМ отмечено в тканях водорослей на всех исследованных участках. Диапазон концентраций ТМ достаточно широк, и взаимное положение в ряду по убыванию их содержания меняется в различных реках. Содержание Fe в водорослях достигало 7240 мг/кг сухого вещества. Максимальное содержание Cu, Zn, Ni, Co и Cr изменялось от 130 до 338 мг/кг, Cd и Pb — от 3,8 до 39,6 мг/кг сухого вещества.

Увеличение концентрации ТМ в тканях водорослей наблюдалось в тех же водотоках, для которых характерны повышенные концентрации ТМ в воде. Сравнительный анализ пространственного распределения средних концентраций

восьми ТМ в тканях водорослей позволил выделить две группы рек (рис. 3). Первая (А) объединяет реки Печенга и Колосйоки, в которых зафиксированы максимальные концентрации практически всех ТМ.

В группе «В» подгруппа В1 объединяет главным образом водотоки Хибин с минимальными концентрациями ТМ в тканях водорослей. В реках подгруппы В2 содержание ТМ в водорослях выше, что связано с влиянием металлургического комбината «Печенганикель».

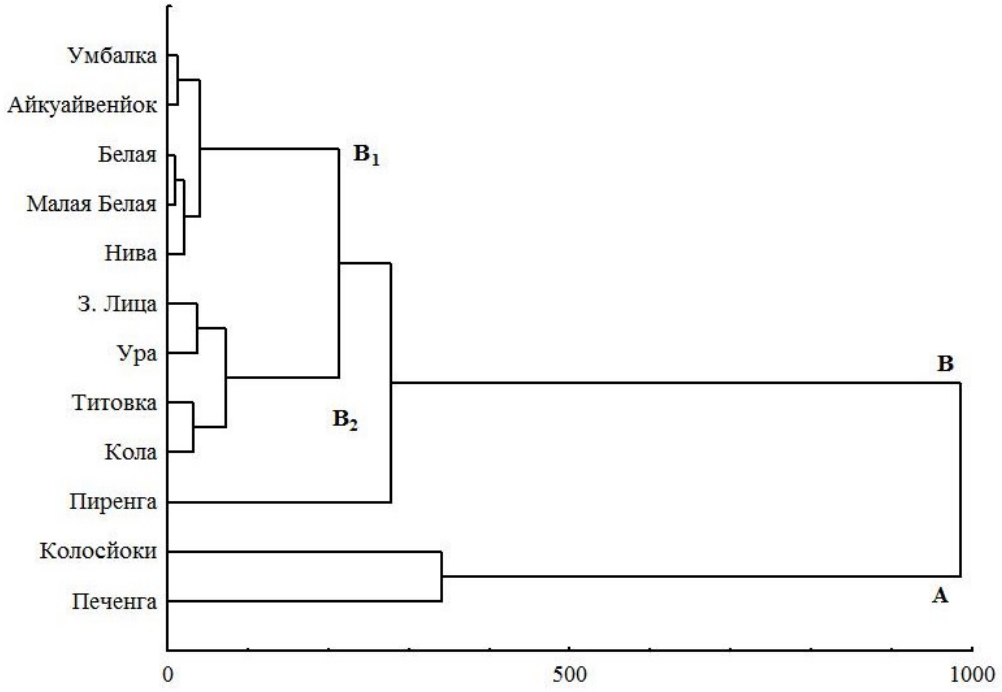


Рис. 3. Дендрограмма сходства рек Мурманской обл. по концентрации ТМ в тканях водорослей перифитона. Группы А, В (В1 и В2) — объяснение в тексте

В реках Ура и Кола была проанализирована пространственная динамика концентраций ТМ от истока (ст. 1) к устью (ст. 5). Показано изменение содержания ТМ в тканях водорослей в этом направлении, связанное с антропогенной нагрузкой (табл.). В р. Кола рост содержания металлов в тканях водорослей отмечен ниже г. Оленегорска (ст. 2), что связано с поступлением сточных вод с территории крупного промышленного узла и хвостохранилища. В р. Ура максимальные содержания металлов зафиксированы ниже оз. Килпъявр и автомобильной трассы Мурманск — Никель (ст. 2). В обоих случаях при минимизации антропогенной нагрузки концентрации ТМ постепенно снижаются и становятся близкими к наблюдаемым в верховьях рек, не испытывающих антропогенной нагрузки.

Таким образом, выявление наличия тяжелых металлов в фитоперифитоне позволяет оценить их концентрации в водоеме и выделить загрязненные районы, водотоки и их участки.

Нитчатые водоросли — массовые группы в водоемах, неподвижны, удобны для сбора, транспортировки и хранения. Этим определяется целесообразность их использования в системе экологического мониторинга. Несомненно, требуется провести дополнительные исследования сезонной и пространственной динамики концентраций ТМ в фитоперифитоне и сравнить ее с наблюдаемой в воде и тканях других водных организмов. Только это позволит разработать научную программу мониторинга содержания ТМ в водоемах.

Пространственная динамика концентрация ТМ в фитоперифитоне рек Кола и Ура от истока (ст. 1) до устья (ст. 5), мкг·кг$^{-1}$

Станция	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Fe
Река Кола								
1	0,1±0,02	1,2±0,5	23,2±1,9	28,4±1,9	15,1±1,0	4,1±0,3	14,5±0,2	315,0±32,8
2	0,4±0,02	9,5±0,5	96,8±12,7	31,0±3,5	110,0±21,9	11,6±0,6	14,9±0,6	359,0±14,0
3	1,5±0,04	11,8±0,5	49,9±1,4	50,3±1,6	182,0±17,8	50,8±2,5	6,1±0,8	340,0±27,2
4	1,3±0,1	7,1±0,8	38,1±0,6	68,3±2,3	98,1±6,8	43,4±1,4	2,9±0,7	482,0±59,4
5	0,6±0,03	4,9±0,5	18,0±3,0	60,7±4,0	24,5±4,4	0,6±0,1	2,3±0,2	509,0±18,7
Река Ура								
1	0,5±0,2	12,4±3,3	32,2±0,8	40,4±9,9	64,8±4,5	11,8±0,5	5,1±0,2	518,0±82,0
2	1,6±0,2	12,7±0,2	26,6±3,9	130,0±29,5	99,3±5,7	32,6±1,4	5,4±0,6	820,0±30,0
3	1,0±0,2	7,7±0,2	36,4±1,4	48,9±1,1	116,0±4,0	31,1±2,9	5,7±0,5	323,0±23,0
4	0,6±0,1	8,3±0,5	21,0±2,5	52,0±4,0	56,4±3,6	25,5±0,5	5,9±0,3	487,0±16,1
5	0,3±0,03	7,8±0,5	27,2±1,7	36,2±0,7	33,6±1,3	10,7±0,3	26,6±0,7	321,0±25,2

Увеличение уровня тяжелых металлов в тканях водорослей наблюдалось в тех же водотоках, для которых характерны повышенные концентрации металлов в воде. Содержания тяжелых металлов в фитоперифитоне позволяет оценить их концентрации в водоеме и выделить загрязненные районы, водотоки и их участки. Сравнительный анализ пространственного распределения средних значений концентрации восьми тяжелых металлов в тканях водорослей позволил выделить группы рек и их участки, различающиеся по концентрации ТМ.

При минимизации антропогенной нагрузки естественная структура альгоценозов быстро восстанавливается [Комулайнен, Морозов, 2007]. Это особенно характерно для рек с чередованием порогов и плесов, играющих роль природных очистных сооружений.

Заключение

Таксономическая структура и количественные характеристики фитоперифитона исследованных рек Мурманской обл. обусловлены зональным положением их водосборов, особенностями ландшафта, которые определяют морфометрию и гидрологический режим водотоков, а также уровнем антропогенной нагрузки.

При высоком видовом богатстве структура доминирующего комплекса достаточно постоянна. Она сформирована небольшим числом видов диатомовых, зеленых и красных водорослей, которые типичны для холодноводных, олиготрофных водотоков и определяют биомассу фитоперифитона в исследованных реках. Эколого-географический анализ показал, что структуру фитоперифитона формируют типичные прикрепленные формы. Низкая минерализация рек объясняет высокое разнообразие видов, индифферентных к солености и pH воды.

Индикационные возможности фитоперифитона достаточно высоки. Структура сообщества и рассчитанные индексы достаточно четко отражают биотопическое разнообразие и трофический статус рек. Одновременное проведение исследований на неподверженных антропогенной нагрузке реках / участках рек позволяет решить проблемы, связанные с отсутствием фоновых данных. Имеющиеся сведения о структурных характеристиках фитоперифитона, рассчитанных индексах и концентрации ТМ в тканях водорослей дополняют друг друга, тем самым повышая объективность выводов.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственных заданий № 0221-2014-0038 и № 0221-2017-0045.

Литература

Баринова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.

Денисов Д. Б., Баринова С. С. Фитоперифитон и показатели среды в реках Кольского полуострова, Русский Арктический Север // Вопросы современной альгологии. 2016. № 1 (11). URL: http://algology.ru/957 (дата обращения: 26.07.2020).

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2017 году / Мин-во природных ресурсов и экологии Мурманской области. Мурманск, 2018. URL: https://gov-murman.ru/region/environmentstate (дата обращения: 26.07.2020).

Каган Л. Я., Денисов Д. Б. Исследования диатомей на Кольском полуострове в XX веке // Морфология, экология и биогеография диатомовых водорослей: сб. тез. VIII школы диатомологов России и стран СНГ / под ред. С. И. Генкала; Ин-т биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. Борок, 2002. С. 38–39.

История и основные итоги изучения криптогамных организмов Зеленого пояса Фенноскандии в пределах Мурманской области / М. Н. Кожин [и др.] // Труды Карельского НЦ РАН. 2019. № 4. С. 64–88.

Комулайнен С. Ф. Альгофлора перифитона малых рек побережья Баренцева моря // Труды Карельского НЦ РАН. 2008. № 14. С. 17–31.

Комулайнен С. Ф., Генкал С. И. Материалы к флоре Bacillariophyta приграничной реки Пасвик (Патсойки, Мурманская область, Россия). 1. Centrophyceae // Альгология. 2009. № 19 (3). С. 273–281.

Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н., Барышев И. А. Гидробиологическая характеристика рек Терского берега Кольского полуострова // Труды Карельского аучного центра РАН. Биогеография Карелии. 2007. № 7. С. 28-44.

Комулайнен С. Ф. Методические рекомендации по изучению фитоперифитона в малых реках. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. 43 с.

Комулайнен С. Ф., Морозов А. В. Изменение структуры фитоперифитона в малых реках урбанизированных территорий // Водные ресурсы. 2007. № 34 (3). С. 346–353.

Комулайнен С. Ф. Перифитон рек Ленинградской, Мурманской областей и Республики Карелия: [оперативно-информационные материалы]. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1996. 39 с.

Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон в малых реках Кольского полуострова // Гидробиол. журн. Киев, 1994. 27 с. Деп. ВИНИТИ. 22.08. 1994. № 2097–В94.

Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон рек Кандалакшского берега Белого моря // Труды Карельского НЦ РАН. 2017. № 6. С. 29–47.

Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон рек Хибин // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге. СПб., 2018. С. 242–245.

Комулайнен С. Ф. Cyanophyta/Cyanoprokaryota в перифитоне рек Восточной Фенноскандии: роль в экосистемах, опыт изучения и проблемы // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология. 2016. № 4. С. 14–23.

Киселев И. А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6: Пирофитовые водоросли. М.: Сов. наука, 1954. 212 с.

Косинская Е. К. Десмидиевые водоросли. II. Конъюгаты, или сцеплянки. Флора споровых растений СССР. М.; - Л.: Изд-во АН СССР. 1960. Т. 5. Вып. 1. 706 с.

Косинская Е. К. Конъюгаты, или сцеплянки. (I): Мезотениевые и гонатозиговые водоросли. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. 164 с.

Мошкова Н. А., Голлербах М. М. Зеленые водоросли. Класс Улотриксовые. 1 // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 10. - Л.: Наука, 1986. 360 с.

Паламарь-Мордвинцева Г. М. Зеленые водоросли. Класс Коньюгаты. Порядок Десмидиевые // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11 (2). Л.: Наука, 1982. 620 с.

Паламар-Мордвинцева Г. М. Кон'югати // Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Вип. 8. Ч. 1. Київ: Наук. думка, 1984. 512 с.

Попова Т. Г. Эвгленовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. М.: Сов. наука, 1955. 283 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Кольский полуостров. Л.: Гидрометиздат, 1970. Т. 1. 315 с.

Рундина Л. А. Зигнемовые водоросли России (Chlorophyta: Zygnematophyceae, Zygnematales). СПб.: Наука, 1998. 351 с.

Шаров А. Н., Рябинкин А. В., Комулайнен С. Ф. Гидробиологическая характеристика водных объектов в районе строительства горно-обогатительного комбината на базе месторождения апатит-нефелиновых руд «Олений Ручей» (Кольский п-ов) // Труды Карельского НЦ РАН. 2009. № 4. С. 76–84.

Яковлев В. А., Кашулин Н. А. Об истории начальных этапов лимнологических исследований на Кольском Севере // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 4 (11). С. 117–139.

Eloranta P., Kwandrans. J. Freshwater red algae (Rhodophyta) Identification guide to European taxa, particularly to those in Finland. Saarijrvi: Saarijrven Offset Oy, 2007. 103 p.

Kelly M. G. Data rich, information poor? Phytobenthos assessment and the Water Framework Directive // Eur. J. Phycol. 2013. Vol. 48. P. 437–450.

Kelly M. G., Whitton B. A. The trophic Diatom index: a new index for monitoring eutrophication in rivers // J. App. Phycol. 1995. Vol. 7. P. 433–444.

Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Teil: Chroococcales // Süβwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 19/1. Jena, etc.: Gustav Fischer, 1998. 548 p.

Komárek J., Anagnostidis K.. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales // Süβwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 19/2. Heidelberg: Elsevier/Spektrum, 2005. 759 p.

Komárek J. Cyanoprokaryota. 3. Teil: Heterocytous // Süβwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 19/3. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verlag, 2013. 1130 p.

Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen), Ordnung Chlorococcales. Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie. Teil 7, 1. Hälfte. Stuttgart: Schweizerbart, 1983. 1044 p.

Komulaynen S. Algological studies of fluvio-lacustrine systems in the Northern European part of Russia // Int. J. Algae. 2007. Vol. 9 (2). P. 139–149.

Komulaynen S. Diatoms of Periphyton assemblages of Small Rivers in North-Western Russia // Studi Trent. Sci. Nat. 2009. Vol. 84. P. 153–160.

Komulaynen S. The green algae as structural element of phytoperiphyton communities in streams of the Northwestern Russia // Biology. 2008. Vol. 63 (6). P. 859–865.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Achnanthaceae, Kritische Erganzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis // Süβwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/4. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991a. 437 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Süβwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/2. Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag, 1988. 596 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Süβwasserflora von Mitteleuropa. Bd 2/3. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag, 1991b. 576 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae: Naviculaceae // Süβwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2/1. Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986. 860 p.

Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1955. Vol. 96 (18). P. 1–604.

Shannon C. B., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana (Illinois): Univ. Illinois Press, 1963. 345 p.

Simpson E. H. Measurement of diversity // Nature. 1949. P. 163.

Starmach K. Chrysophyceae und Haptophyceae //Süβwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 1. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag, 1985. 515 p.

Stevenson R. J., Smol J. P. Use of algae in environmental assessments // Freshwater Algae of North America, Ecology and Classification. San Diego: Acad. Press, 2003. P. 775–804.

Suomen Standardisoimisliitto. Water analysis. Metal content of biological material determined by atomic absorption spectrometry. Digestion. Standard SFS 5075. Helsinki, 1990. 134 p.

Сведения об авторе

Комулайнен Сергей Федорович
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: komsf@mail

Sergey F. Komulainen
Dr Sc. (Biology) Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk; e-mail: komsf@mail

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.007
УДК 599.426:591.5:591.1(470.1/.2)

В. В. Белкин[1], В. А. Илюха[1], Е. А. Хижкин[1,2], А. Е. Якимова[1], Ф. В. Фёдоров[1], Е. А. Антонова[1], А. Г. Кижина[1], Л. Б. Узенбаева[1], Т. Н. Ильина[1], И. В. Баишникова[1]
[1]*Институт биологии ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук»*
[2]*Петрозаводский государственный университет*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИИ СЕВЕРНОГО КОЖАНКА (*EPTESICUS NILSSONII* L.) КАК ФАКТОР ДОМИНИРОВАНИЯ ВИДА В СЕВЕРНЫХ ШИРОТАХ

Аннотация

Изучение северного кожанка проводилось в подзонах средней и северной тайги Республики Карелия. Гибернация *E. nilssonii* в подземных убежищах проходит в относительно узком диапазоне влажности воздуха (61,8–96,5 %), в широких пределах температуры воздуха (от –8,4 до +11,5 °С) и субстрата (от –6,5 до +1,9 °С). В отличие от других видов рукокрылых, северный кожанок зимовал открыто (86 %) и поодиночке (90 %). Он встречен в 87 % подземных убежищ. Антиоксидантная защита органов северного кожанка при гибернации обеспечивается за счет антиоксидантных ферментов и витаминов. В лейкоцитарной формуле отмечено самое большое среди других видов рукокрылых региона содержание базофилов ($2{,}1 \cdot 10^9$ к/л), обеспечивающих вязкость крови при пониженной скорости кровотока. Вид преобладает на зимовках в подзоне средней тайги с обилием 59,9 %. Летом северный кожанок доминирует в подзонах средней и северной тайги по обилию (72,5 и 67,2 %) и по относительной численности (0,26 и 0,38 экз/км маршрута).

Ключевые слова:

рукокрылые, северный кожанок, физиолого-биохимические особенности, экология, Европейский Север.

Vladimir V. Belkin[1], Viktor A. Ilyukha[1], Eugene A. Khizhkin[1,2], Alina E. Yakimova[1], Fyodor V. Fyodorov[1], Ekaterina P. Antonova[1], Aleksandra G. Kizhina[1], Lyudmila B. Uzenbaeva[1], Tatiana N. Ilyina[1], Irina V. Baishnikova[1]
[1]*Institute of biology Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences*
[2]*Petrozavodsk State University*

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL ADAPTATION OF THE NORTHERN BAT (*EPTESICUS NILSSONII* L.) AS A FACTOR OF THE SPECIES DOMINANCE IN NORTHERN LATITUDES

Abstract

The study of Northern bat was conducted in the middle and northern taiga subzones in the Republic of Karelia. *E. nilssonii* hibernate in a in a relatively narrow range of air humidity levels (от 61,8 до 96,5 %), in a wide range of air temperature in the shelter (–8,4 to +11,5 °C), and temperature of walls and ceiling where animals were localized (–6,5 to +1,0 °C). Unlike other bat species Northern bat wintered openly (81,5 %), and singly (89,4 %) and was found in 86,7 % of underground shelters. Antioxidant protection of Northern bat organs during hibernation is provided by antioxidant enzymes as well as by vitamins. A distinctive feature of the differential WBC count of *E. nilssonii* is the highest content of basophils — $2{,}1 \cdot 10^9$/L. This cells are essential for maintaining blood viscosity when the blood flow is slow. Species dominate in wintering in the middle taiga subzone with relative abundance 65,7 %. Summer counts of bats showed that the Northern bat dominate in the middle and northern taiga subzones both in terms of relative abundance (72,5 and 67,2 %) and relative numbers (0,260 and 0,383 bats/km of transect).

Keywords:

bats, Northern bat Eptesicus nilssonii, physiological and biochemical features, ecology, European North.

Введение

С продвижением к северу Европы видовой состав летучих мышей обедняется [Horäcëp et al., 2000; Pereswiet-Soltan, 2007]. Среди размножающихся рукокрылых самые северные находки известны для северного кожанка [Rydell, 1994; Michaelsen, 2016]. В подзонах средней и северной тайги, в отличие от южной тайги и широколиственных лесов, северный кожанок доминирует на зимовках и летних учетных маршрутах [Рыков, 2008; Емельянова, Христенко, 2013; Экологический..., 2015; Видовой состав…, 2018; Изучение фауны…, 2019]. Вероятно, это обеспечивается экологическими и эколого-физиологическими адаптациями вида и его экологической валентностью. Представленные материалы по Европейскому Северу России обобщают многолетние исследования коллектива авторов и раскрывают некоторые механизмы поддержания гомеостаза и успешного выживания *Eptesicus nilssonii* в северных широтах, демонстрируют изменения относительной численности и обилия вида в широтном направлении, в т. ч. на периферии ареала.

Материалы и методы

В 2009–2019 гг. на территории Республики Карелия было выявлено 15 зимних подземных убежищ рукокрылых, часть из которых обследовали 1–3 раза в год, некоторые — лишь однажды за этот период. Всего проведено 93 учета, за период гибернации обнаружено 272 особи летучих мышей 5 видов, из них 11 — погибших. Анализ материала основан на камеральной обработке 104 экземпляров летучих мышей, в том числе 49 особей северного кожанка.

Общая протяженность ночных автомобильных учетов составила 3145 км, на них учтено 832 летучих мыши. Протяженность учетов на 17 стандартных 40-километровых трансектах равнялась 680 км. На них зарегистрировано 352 летучих мыши 8 видов. На контрольных точках отработано 1350 учетных часов, зарегистрировано 269 летучих мышей 9 видов. На водоемах различных категорий (n = 201) учтено 210 летучих мышей восьми видов.

Мониторинг зимних подземных убежищ (искусственные пещеры и бывшие военные бетонные сооружения) проводили в подзоне средней тайги. Микроклиматические показатели в штольнях определяли в 2015–2019 гг. при каждом их посещении. Летучих мышей учитывали при сплошном визуальном осмотре мест зимовок в течение периода гибернации (сентябрь — май). Определяли видовую принадлежность [Кожурина, 1997; Богдарина, Стрелков, 2003] и численность рукокрылых. Латинские названия приведены по сводке И. Я. Павлинова с соавторами [Наземные звери…, 2002]. Вычисляли обилие (доля каждого вида от общего количества зарегистрированных животных, %) [Стрелков, Ильин, 1990]. Регистрировали локализацию летучих мышей на внутренних поверхностях зимовок, использование ими микроубежищ (трещины, шпуры, предметы антропогенного происхождения). Одновременно учитывали погибших животных, в т. ч. найденных на полу.

Для характеристики микроклимата зимних убежищ летучих мышей использовали портативный анемометр с крыльчаткой, сенсором влажности и температуры Testo 410-2. Излучаемую температуру внутренних поверхностей убежищ (пол, потолок, стены) и поверхности тела летучих мышей (n = 81)

измеряли тепловизором Testo 875-1i с предустановленной опцией Super Resolution. Полученные электронные термограммы обрабатывали с использованием программного обеспечения Testo IRSoft (ver. 4.0).

Летний учет рукокрылых выполняли в широтном направлении от 61°10' до 66°23' с. ш. во второй половине июля — первой половине августа 2016 и 2018 гг. Видовое разнообразие, распространение и обилие (%) рукокрылых определяли в течение всей ночи на контрольных точках и на ночных автомобильных маршрутах по лесным дорогам, берегам водоемов, сельскохозяйственным угодьям, населенным пунктам. На контрольных точках работали в автоматическом режиме, устанавливая детектор за час до захода солнца и снимая через 2 часа после его восхода. На стандартных 40-километровых трансектах учет начинали через 45 минут после захода солнца [Russ et al., 2003; Indicator bats…, 2013], это позволило определить относительную численность рукокрылых (экз/км маршрута). На учетах применяли статический ультразвуковой детектор Song Meter SM2 Bat+ с всенаправленным выносным микрофоном. Видовую идентификацию осуществляли с помощью программного обеспечения Kaleidoscope Pro (ver. 3.1.1). Использовали классификатор, разработанный для условий Финляндии, что при низком разнообразии летучих мышей в Карелии повышает точность идентификации видов [Testing…, 2017]. Разделения двух видов ночниц — Брандта и усатой — не проводили из-за одинаковой характеристики издаваемых ими звуковых сигналов. Программа позволяет определять долю безальтернативной идентификации видов, а также разделять отдельные файлы эхолокации по реальному времени их регистрации. Это облегчает обособление отдельных особей. Временной разрыв между файлами составлял, как правило, от 1 до 60 минут. На водоемах в процессе автомобильных учетов рукокрылых регистрировали с мостов над всеми пересекающими маршрут реками и ручьями в течение 5–10 минут [Siivonen, Wermundsen, 2008a; Monitoring..., 2016], а также по берегам озер и ламб, находившихся в непосредственной близости (5–20 м) от маршрута. По доле водоемов с зарегистрированными видами (%) определяли встречаемость рукокрылых.

Выборочный сбор летучих мышей проводили по разрешениям Управления охотничьего хозяйства РК (№ 0002-2010, 0001-2011, 00008-2013, 00009-2015, 00011-2016, 00013-2017) с соблюдением международных принципов Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным [Этическая…, 2005]. Особей, находящихся в спячке, отлавливали с начала октября до середины апреля. В лабораторию животных доставляли в отдельных контейнерах при температуре +5 °С и относительной влажности воздуха 95 % и через 24 часа забивали.

Активность антиоксидантных ферментов измеряли методами спектрофотометрии: супероксиддисмутазы (СОД, КФ 1.15.1.1) — по модифицированной адренохромной методике [Misra, Fridovich, 1972], каталазы — по количеству разложенной H_2O_2 [Bears, Sizes, 1952]. За условную единицу активности СОД принимали торможение (на 50 %) этим ферментом процесса автоокисления адреналина в адренохром. Активность каталазы (КФ 1.11.1.6) выражали в количестве H_2O_2, разложенной за 1 минуту. Содержание витаминов А (ретинол) и Е (α-токоферол) определяли в органах и тканях методом высокоэффективной жидкостной хроматографии [Скурихин, Двинская, 1989].

Механизмы устойчивости рукокрылых к внешним факторам исследовали по показателям периферической крови, которая высокочувствительна к условиям среды и играет важнейшую роль в адаптационных процессах

и иммунореактивности организма. Количество лейкоцитов определяли в камере Горяева, лейкоцитарную формулу — на мазках крови, окрашенных по Паппенгейму фиксатором Мая — Грюнвальда и красителем Романовского (MiniMed, Россия). Использовали световой микроскоп Axioscop 40 (Carl Zeiss) с компьютерной системой анализа изображений, цветной цифровой видеокамерой (Pixera 150ES) и программным обеспечением «Видеотест». Определяли морфологию эритроцитов и лейкоцитов и содержание отдельных клеточных форм в периферической крови.

Полученные материалы обрабатывали общепринятыми методами вариационной статистики. Достоверность различий статистических показателей оценивали по критериям Стьюдента и Вилкоксона — Манна — Уитни в зависимости от размера выборок и нормальности распределения. Работа выполнена на научном оборудовании Центра коллективного пользования Института биологии КарНЦ РАН.

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что в 13 из 15 обследованных подземных убежищ зимовали летучие мыши — от 1–2 до 25 особей за зимний сезон. Зарегистрировано 5 видов рукокрылых: *Eptesicus nilssonii, Myotis daubentonii, Myotis brandtii, Myotis mystacinus, Plecotus auritus.* Северный кожанок доминировал по обилию (60 %) и встречаемости на зимовках (87 %). В 4 бетонных убежищах Лахденпохья (61°32' с. ш.) и Медвежьегорска (62°54' с. ш.) северный кожанок составил 95 % всех обнаруженных рукокрылых. В самых северных штольнях и бетонных сооружениях в Медвежьегорском районе найдены только немногочисленные экземпляры северного кожанка, которые регистрировались не ежегодно.

Сплошной визуальный учет рукокрылых показал, что северный кожанок позднее других видов заселяет подземные убежища осенью и раньше покидает их весной. В сентябре он не был отмечен в учетах, в октябре — декабре его обилие составило 40 %, в январе — марте — 72, в апреле — мае — 40 % (табл. 1). Аналогичная тенденция наблюдается в Тверской обл. [Глушкова и др., 2006], где заселение штольни «Ледяная» северным кожанком начинается практически с ноября, максимальное обилие отмечается в феврале, а в мае кожанок уже отсутствует в убежищах. Эти результаты могут свидетельствовать о высокой экологической пластичности вида [(The costs…, 2017)].

Гибернация северного кожанка проходит в относительно узком диапазоне влажности воздуха (от 61,8 до 96,5 %) и широких пределах температуры воздуха в убежищах (от –8,4 до +11,5 °С) и температуры субстрата — стен и потолка (от –6,5 до +1,9 °С) (рис. 1). При этом минимальная температура, излучаемая поверхностью тела спящих животных, опускалась до −5,6 °С, что говорит о высокой резистентности вида к отрицательным температурам. Вероятно, температура тела зимующих зверьков находилась в пределах 0 °С, о чем говорят результаты опытов по измерению ректальной температуры *E. nilssonii* при экстремальных тепловых условиях [(Reite, Davis, 1966)]. Бурый ушан и ночницы, в отличие от северного кожанка, встречаются в более широком диапазоне влажности воздуха и, за очень редким исключением, только при плюсовых температурах воздуха.

Таблица 1

Динамика численности (экз/1 учет) и обилие северного кожанка в период гибернации в подзоне средней тайги

Месяц	Количество учетов (n = 93)	Количество летучих мышей на 1 учет, экз.		Обилие северного кожанка, %
		все виды	северный кожанок	
Сентябрь	6	1,50	–	–
Октябрь	9	2,78	0,89	32,0
Ноябрь	21	1,33	0,67	50,0
Декабрь	5	3,40	1,60	47,1
Январь	2	4,00	2,50	62,5
Февраль	9	5,00	3,89	77,8
Март	27	4,26	3,04	71,3
Апрель	7	3,00	1,29	42,9
Май	7	0,57	0,14	25,0
В среднем	–	2,92	1,74	59,9

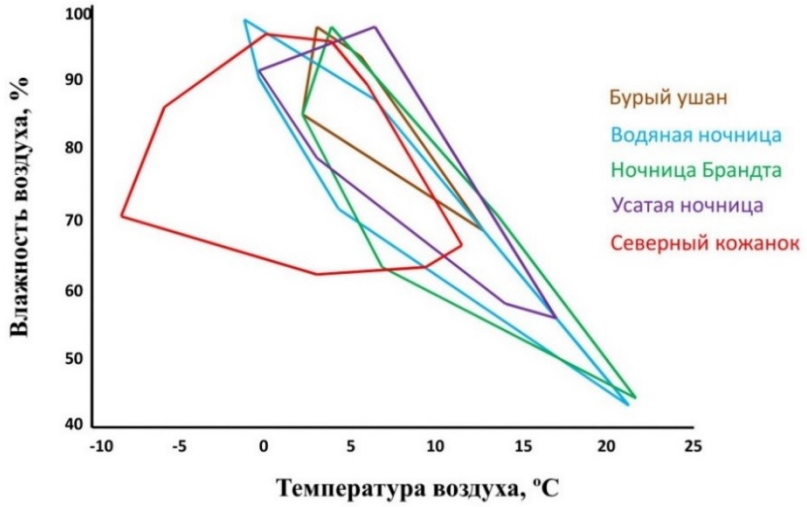


Рис. 1. Параметры температуры и влажности воздуха в зимних подземных убежищах, предпочитаемые разными видами рукокрылых

Выявлены положительные корреляционные значения зависимости температуры поверхности тела северного кожанка от температуры воздуха в убежище (r = 0,87, p < 0,0000) и температуры субстрата (r = 0,90, p < 0,0000). Коэффициент детерминации R^2 между температурой субстрата и температурой, излучаемой поверхностью тела, в различные периоды гибернации был стабильно высоким (0,73–0,99), что свидетельствует об однонаправленном изменении этих параметров (рис. 2).

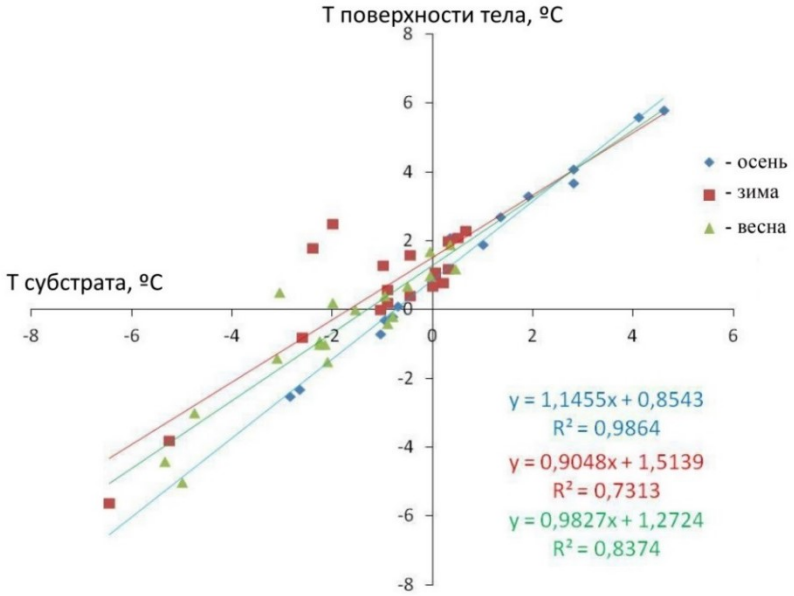


Рис. 2. Зависимость между температурой поверхности субстрата и излучаемой температурой поверхности тела у северного кожанка в различные периоды гибернации

Северный кожанок, в отличие от других видов, зимовал открыто (78,4 %), а не в щелях и шпурах ($p = 0{,}01$). Одиночное расположение животных (90 %) явно преобладало над групповым ($p = 0{,}01$). Стратегия его выживания направлена на использование широкого спектра подземных убежищ (встречаемость — 86,7 %), тогда как у других видов этот показатель в 3–4 раза ниже. Высокая экологическая валентность северного кожанка определяет его низкую смертность во время гибернации (5,2 %). Следует уточнить, что на величину этого показателя повлиял лишь один из шпуров в Основной штольне местечка Сона (61°43' с. ш.), где в течение трех лет ежегодно находили погибших кожанков, в других подземных убежищах их смертность не зафиксирована.

Антиоксидантная защита органов у северного кожанка обеспечивается антиоксидантными ферментами и витаминами — ретинолом и α-токоферолом [Содержание…, 2017]. Их высокое содержание в печени, в том числе в конце периода гибернации (ретинол — 0,93–68,8 мкг/г, α-токоферол — 3,90–26,97 мкг/г), обеспечивает эффективное функционирование метаболических систем в условиях гибернации и успешное воспроизводство вида в репродуктивный сезон. Установлены половые различия в содержании ретинола и α-токоферола у *E. nilssonii*: у самок оно выше, чем у самцов (рис. 3). Потери массы тела с октября к апрелю у самок северного кожанка составили лишь 7 %, тогда как у самцов — 25 % (рис. 4). У других видов рукокрылых этот показатель был выше — 12–30 %. Возможно, северный кожанок способен уходить на зимовку с меньшими жировыми запасами или расходовать их более экономно, чем другие виды. И в том, и в другом случае это сокращает потери массы тела за период гибернации. Не исключено, что меньшие показатели потери массы связаны с менее продолжительным периодом пребывания кожанка в зимних подземных убежищах (см. табл. 1).

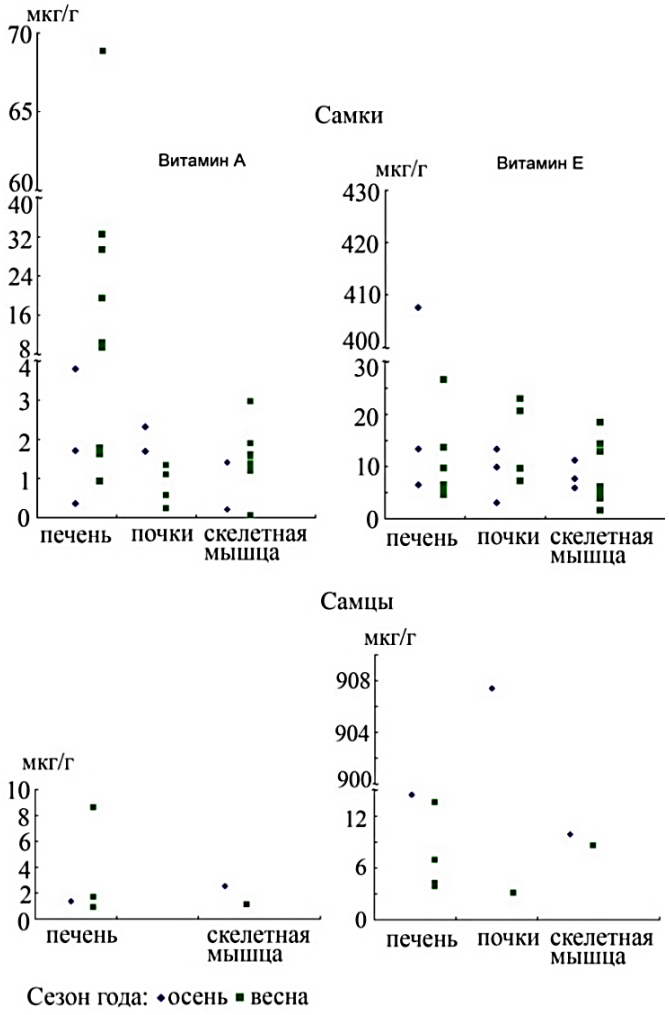


Рис. 3. Индивидуальные значения содержания витаминов в органах и тканях северного кожанка

Перестройка метаболизма у зимоспящих затрагивает их многие физиологические системы, прежде всего функционирование почек, сердца и легких. Нагрузка на почки увеличивается за счет закисления тканей лактатом, накапливающимся в результате процессов гликолиза. Выявлена ткане- и видоспецифичность ферментативного компонента антиоксидантной защиты органов у гибернирующих рукокрылых: в легких и сердце северного кожанка активность антиоксидантных ферментов оказалась более высокой, чем у других исследованных видов рукокрылых (рис. 5), что свидетельствует о большей защищенности этих органов от окислительного стресса [Antioxidant..., 2017].

Обнаружена ткане- и видоспецифичность содержания восстановленного глутатиона (GSH) в органах исследованных видов рукокрылых. В печени максимальная среди изученных видов GSH была выявлена у ночницы Брандта (достоверно выше, чем у северного кожанка). Как известно, за счет GSH глутатион-S-трансфераза (GSH/GSSG) без предварительного фосфолипазного

гидролиза осуществляет прямую регенерацию липоперекисей в мембранах, снижая последствия окислительного стресса и эндогенной интоксикации [Колеснеченко, Кулинский, 2000].

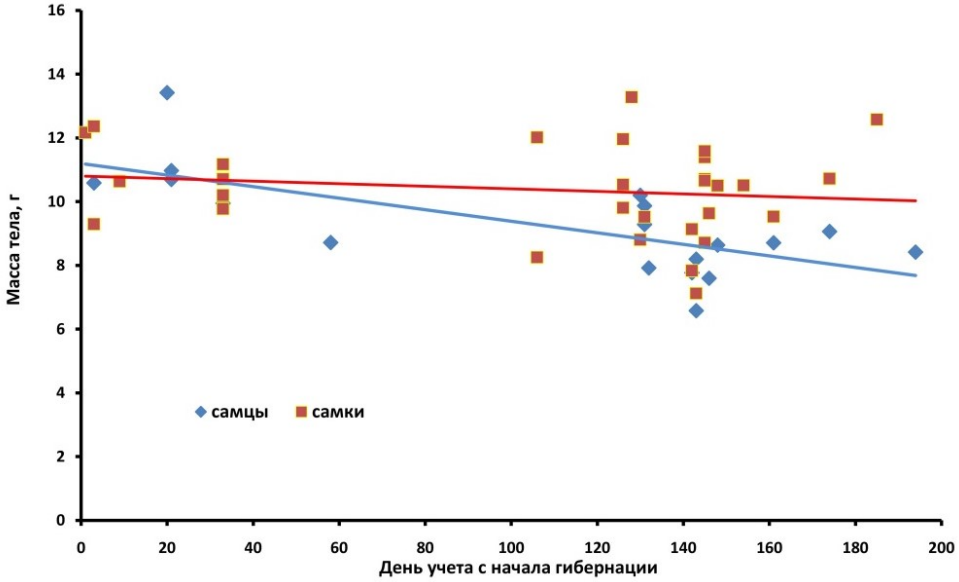


Рис. 4. Изменение массы тела северного кожанка в период гибернации

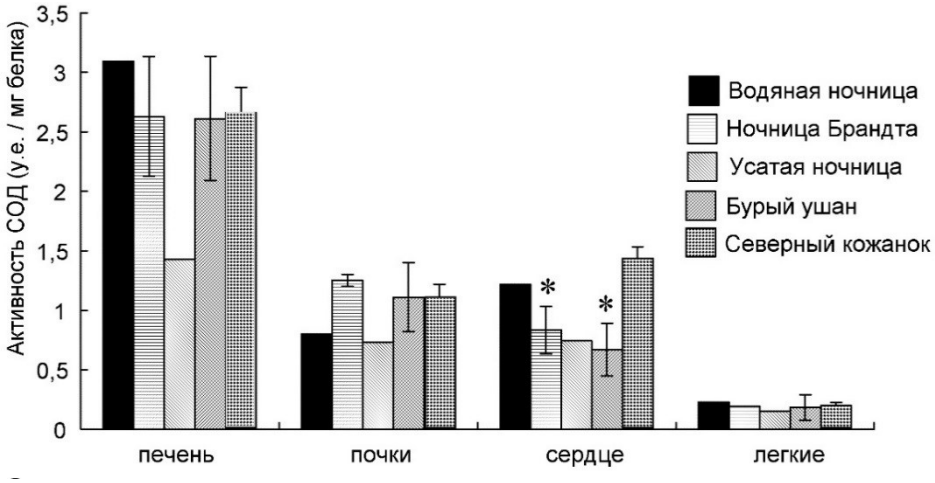


Рис. 5. Активность антиоксидантных ферментов супероксиддисмутаза СОД в органах рукокрылых. * достоверные различия в сравнении с теми же органами у северного кожанка ($p < 0,05$)

У северного кожанка печень, сердце и скелетная мышца отличались более низким содержанием GSH. Было показано [Interspecific..., 2014], что в крови северного кожанка соотношение GSH/GSSG выше, чем у бурого ушана и усатой ночницы.

Исследование сезонных (осень — зима — весна) изменений некоторых гематологических показателей северного кожанка показало [Hematological..., 2018], что уровень гемоглобина (17,2 ± 1,82; 19,6 ± 1.78; 16,4 ± 0,52 г/дл) и содержание эритроцитов (8,68 ± 0,27; 9,46 ± 0,37; 8,58 ± 0,28·10^{12} к/л) крови не претерпевало значительных изменений ($p > 0,05$). Весной, по сравнению с зимой, отмечено 2–5-кратное увеличение абсолютного содержания лимфоцитов, палочкоядерных нейтрофилов и базофилов ($p < 0,05$). Отличительной особенностью лейкоцитарной формулы северного кожанка является самое высокое содержание базофилов — 2,1·10^9 к/л (рис. 6). Базофилы обеспечивают вязкость крови при пониженной скорости кровотока. По ряду гематологических показателей (количество лейкоцитов, состав лейкоформулы) северный кожанок отличается от редко встречающихся усатой ночницы и бурого ушана и проявляет наибольшее сходство с ночницами Брандта и водяной. По-видимому, соотношение разных типов лейкоцитов у *E. nilssonii* является оптимальным для сохранения гомеостаза.

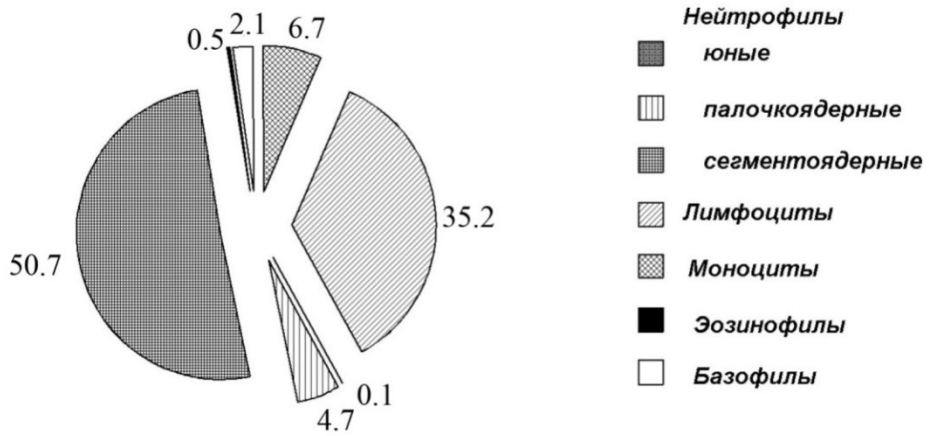


Рис. 6. Относительное содержание разных типов лейкоцитов в периферической крови северного кожанка [по: Узенбаева и др., 2019, с сокращениями]

Закономерно, что выявленные преференции и широкая экологическая валентность северного кожанка обусловливают его преобладание на зимовках в северных регионах: в Карелии, в подзоне средней тайги, относительное обилие вида составило 59,9 %; в Архангельской обл., в подзоне северной тайги, — 98 % от общего количества учтенных животных. Следует учитывать, что эти показатели отражают не только преференции *E. nilssonii*, но и видовые особенности других рукокрылых, для которых условия зимовки в подземных убежищах на широтах севернее 62° становятся дискомфортными. В подзоне южной тайги и в широколиственных лесах обилие северного кожанка значительно снижается как в европейской части России (табл. 2), так и в странах Северной Европы [Siivonen, Wermundsen, 2008b; Long-term increase…, 2018].

Летние учеты рукокрылых показали, что северный кожанок доминирует в подзонах средней и северной тайги как по обилию (72,5 и 67,2 %), так и по относительной численности (0,260 и 0,383 экз/км маршрута). Эти значения

на порядок выше, чем для других видов, а также для *E. nilssonii* в подзоне широколиственных лесов России и в Центральной Европе [Емельянова, Христенко, 2013; Indicator bats…, 2013].

Таблица 2

Обилие северного кожанка в широтном направлении при гибернации

Регион, природная зона	Координаты мест учета	Тип подземного убежища	Обилие вида		Автор
			n	%	
Архангельская обл., северная тайга	64°33' с. ш., 43°11' в. д.	Карстовые пещеры	> 100	> 98	А. М. Рыков (2008)
Республика Карелия, средняя тайга	61°07'–62°54' с. ш., 30°12'–35°40' в. д.	Штольни и бетонные сооружения	163	59,9	Наши данные
Финляндия, южная тайга	60°–61° с. ш. 22°–28° в. д.	Бетонные сооружения	745	22,0	Y. Siivonen, T. Werdmunsen (2008*b*)
Ленинградская обл., южная тайга	58°42 –60°00' с. ш., 29°3'–32°18' в. д.	Штольни, бетонные и кирпичные сооружения	65	1,7	Д. В. Чистяков, (2009); И. Ю. Попов, Д. Н. Ковалев (2010); Д. В. Чистяков, С. В. Богдарина (2010)
Тверская обл., подтаежные елово-широко-листные леса	56°34' с. ш., 34°59' в. д.	Штольня	12	1,5	А. А. Емельянова с соавторами (2019), с дополнениями

Расчет относительной численности северного кожанка в направлении с юга на север Карелии показал, что данный признак максимален в полосе от 64° до 65° с. ш. — 0,708 экз/км маршрута. К югу и северу от этой условной полосы численность снижается, достигая минимума выше 66° с. ш. — 0,125 экз/км маршрута. Можно ожидать, что от полярного круга и до северной границы лесной зоны северный кожанок будет встречаться еще реже и фрагментарно, как это наблюдается в Финляндии [The Atlas…, 1999], в зависимости от характера лесной растительности, градиента высоты над уровнем моря, минимальной температуры воздуха в период размножения и гибернации [Michaelsen, 2016].

На Европейском Севере северного кожанка от других видов отличают некоторые особенности поведения и биотопического распределения. Для него характерен длительный период высокой ночной активности, что обеспечивает более благоприятные условия питания. Он выделяется самой высокой встречаемостью на водоемах и в населенных пунктах (табл. 3), что характеризует его не только как типично лесной вид, но позволяет говорить и о его высокой степени синантропности и широкой приуроченности к околоводным биотопам. В исследованиях финских зоологов [Werdmunsen, Siivonen, 2008] отмечается высокая доля жировок северного кожанка в городах и на опушках хвойных лесов (по 14 %), в хвойных лесах и на реках (по 11 %).

Таблица 3

Встречаемость летучих мышей в населенных пунктах и на водоемах (количество мест находок, %)

Населенный пункт, водоем (*n*)	Северный кожанок	Другие виды
Города (6)	100,0	16,7–50,0
Поселки (19)	79,0	0–26,3
Деревни (15)	93,3	0–26,7
В целом (40)	87,5	2,5–27,5
Озера (67)	38,8	3,0–26,9
Реки (134)	40,3	3,7–14,2
В целом (201)	39,8	3,5–18,4

Заключение

Представленные материалы позволяют отнести северного кожанка к доминирующему виду летучих мышей на Европейском Севере. Он, как никакой другой вид рукокрылых, выработал ряд адаптаций к жизни в особых условиях высоких широт. В результате по показателям обилия (%) и относительной численности (экз/км маршрута) северный кожанок преобладает среди других видов в сообществах летучих мышей на зимовках и в период летней активности. Можно предположить, что подзоны средней и, частично, северной тайги оптимальны для жизнедеятельности этого вида.

Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 0218-2019-0080, № 0218-2019-0073 и при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 41 (№ 0221-2018-0002).

Литература

Богдарина С. В., Стрелков П. П. Распространение рукокрылых (*Chiroptera*) на севере Европейской России // Plecotus et al. 2003. № 6. С. 7–28.

Видовой состав и распространение рукокрылых (*Chiroptera, Vespertilionidae*) в Карелии / В. В. Белкин [и др.] // Принципы экологии. 2018. № 3. С. 13–23.

Глушкова Ю. В., Крускоп С. В., Федоров Н. В. Годичный мониторинг рукокрылых в их зимнем убежище в Центральной России // Plecotus et al. 2006. № 9. С. 25–31.

Емельянова А. А., Христенко Е. А., Колотей А. В. Фауна рукокрылых европейских южнотаежных лесов в зимних местах обитания: состав, особенности биологии // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения // Тезисы докладов VII Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 30-летию Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН и 75-летию со дня рождения д. б. н., проф. В. В. Никонова. 2019. С. 217–219.

Емельянова А. А., Христенко Е. А. Метод мобильного акустического ультразвукового мониторинга фауны рукокрылых // Вестник ОГУ. 2013. № 6 (155). С. 149–154.

Изучение фауны летучих мышей (*Mammalia*, *Chiroptera*) в Зеленом поясе Фенноскандии / В. В. Белкин [и др.] // Труды КарНЦ РАН. Серия: Экологические исследования. 2019. № 5. С. 17–29.

Кожурина Е. И. Летучие мыши европейской части бывшего СССР. Полевой определитель по внешним признакам. 1997. URL: http://spelestology.narod.ru/spelesto/bats/bats.html.

Колеснеченко Л. С., Кулинский В. И. Глутатионтрансферазы // Успехи современной биологии. 2000. Т. 107. Вып. 2. С. 179–194.

Морфология и состав клеток периферической крови при спячке у летучих мышей (*Chiroptera*, *Vespertilionidae*) Северо-Запада России / Л. Б. Узенбаева [и др.] // Известия РАН. Сер. биологическая. 2019. № 4. С. 419–428.

Наземные звери России (справочник-определитель) / И. Я. Павлинов [и др.]. М.: КМК, 2002. 298 с.

Попов И. Ю., Ковалев Д. Н. Обстоятельства долгожительства летучих мышей (в связи с материалами исследований на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области) // Успехи геронтологии. 2010. Т. 23. № 2. С. 179–185.

Рыков А. М. Рукокрылые // Компоненты экосистем и биоразнообразия карстовых территорий Европейского Севера России (на примере заповедника «Пинежский»). Архангельск, 2008. С. 293–294.

Скурихин В. Н., Двинская Л. М. Определение α-токоферола и ретинола в плазме крови сельскохозяйственных животных методом микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии // С.-х. биология. 1989. № 4. С. 127–129.

Содержание ретинола и α-токоферола у летучих мышей в период гибернации / Т. Н. Ильина [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. № 5. С. 79–88.

Стрелков П. П., Ильин В. Ю. Рукокрылые (*Chiroptera, Vespertilionidae*) юга Среднего и Нижнего Поволжья // Фауна, систематика и эволюция млекопитающих. Рукокрылые, грызуны: Тр. ЗИН АН СССР. Л., 1990. Т. 225. С. 42–167.

Чистяков Д. В., Богдарина С. В. Новые находки зимовок рукокрылых (*Chiroptera*, *Vespertilionidae*) на Северо-Западе России // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Вып. 3. 2010. С. 3–8.

Чистяков Д. В. Новые данные о зимовках рукокрылых в искусственных подземных сооружениях Ленинградской области // Plecotus et al. 2009. № 11–12. С. 14–17.

Экологический статус рукокрылых (*Chiroptera*) на зимовках в Восточной Фенноскандии / В. В. Белкин [и др.] // Экология. 2015. № 5. С. 374–381.

Этическая экспертиза биомедицинских исследований. Практические рекомендации. М., 2005. 156 с.

Antioxidant defenses in three vesper bats (*Chiroptera: Vespertilionidae*) during hibernation / E. Antonova [et al.] // Turkish J. Zoology. 2017. Vol. 41. P. 1005–1009.

Bears R. F., Sizes I. N. A spectral method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase // J. Biological Chemistry. 1952. Vol. 195. P. 133–140.

Hematological parameters in hibernating *Eptesicus nilssonii* (*Mammalia: Chiroptera*) collected in Northern European Russia / A. Kizhina [et al.] // Acta Chiropterologica. 2018. Vol. 20. No. 1. P. 273–283.

Horäcëk I., Hanak V., Gaisler J. Bats of the Palearctic region: a taxonomic and biogeographic review // Proc. VIII EBRS. 2000. Vol. 1: Approaches to biogeography and ecology of bats. P. 11–157.

Indicator bats program: a system for the global acoustic monitoring of bats / K. E. Jones [et al.] // Biodiversity monitoring and conservation: bridging the gap between global commitment and local action. John Wiley-Blackwell, 2013. P. 213–247.

Interspecific variation in redox status regulation and immune defence in five bat species: the role of ectoparasites / T. M. Lilley [et al.] // Oecologia. 2014. Vol. 175. No. 3. P. 811–23.

Long-term increase in hibernating bats in Swedish mines — effect of global warming? / J. Rydell [et al.] // Acta Chiropterologica. 2018. Vol. 20. No. 2. P. 421–426.

Michaelsen T. C. Summer temperature and precipitation govern bat diversity at northern latitudes in Norway // Mammalia. 2016. Vol. 80 (1). P. 1–9.

Misra H. P., Fridovich I. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase // J. Biological Chemistry. 1972. Vol. 247. P. 3170–3175.

Monitoring netoierov pomocou autotransektov — prvé výsledky zo Slovenska / M. Celuch [et al.] // Vespertillio. 2016. Vol. 18. P. 41–51.

Pereswiet-Soltan A. Relation between climate and bat fauna in Europe // Travaux du Museum National d'Histoire Naturelle "Grigore Antipa". 2007. Vol. 50. P. 505–515.

Reite O. R., Davis W. H. Thermoregulation in bats exposed to low ambient temperatures // Proc. Society for Experimental Biology and Medicine. 1966. Vol. 121. No. 4. P. 1212–1215.

Russ J. M., *Briffa M., Montgomery W. I.* Seasonal patterns in activity and habitat use by bats (*Pipistrellus spp*. and *Nyctalus leisleri*) in Northern Ireland, determined using a driven transect // J. Zoology. 2003. Vol. 259. P. 289–299.

Rydell J. First record of breeding bats above the Arctic Circle: northern bats at 68–70° N in Norway // J. Zoology. 1994. Vol. 233 (2). P. 335–339.

Siivonen Y., Wermundsen T. Distribution and foraging habitats of bats in Northern Finland: Myotis daubentonii occurs north of the Arctic Circle // Vespertilio. 2008*a*. Vol. 12. P. 41–48.

Siivonen Y., Wermundsen T. Characteristics of winter roosts of bat species in Southern Finland // Mammalia. 2008*b*. Vol. 72. P. 50–56.

Testing the performances of automated identification of bat echolocation calls: a request for prudence / J. Rydell [et al.] // Ecological indicators. 2017. Vol. 78. P. 416–420.

The Atlas of European Mammals / A. J. Mitchell-Jones [et al.]. T&A. D. Poyser. London, 1999. 484 p.

The costs of leaving early: Mortality costs associated with departure from the hibernaculum in bats / C. Reusch [et al.] // 5th Intern. Berlin Bat Meeting: Are bats special? (Berlin, Germany, 24th–26th of February 2017). 2017. P. 107.

Wermundsen T., Siivonen Y. Foraging habitats of bats in Southern Finland // Acta Theriologica. 2008. Vol. 53. No. 3. P. 229–240.

Сведения об авторах

Белкин Владимир Васильевич
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: ffyodoroff@inbox.ru
Илюха Виктор Александрович
доктор биологических наук, директор Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: ilyukha@bio.krc.karelia.ru

Хижкин Евгений Александрович
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН; старший преподаватель Института физической культуры, спорта и туризма ПетрГУ, Петрозаводск; e-mail: hizhkin84@mail.ru
Якимова Алина Евгеньевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: angelina73@mail.ru
Фёдоров Фёдор Валерьевич
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: ffyodoroff@inbox.ru
Антонова Екатерина Петровна
кандидат биологических наук, научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: antonova88ep@mail.ru
Кижина Александра Геннадьевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: golubewa81@yandex.ru
Узенбаева Людмила Борисовна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: uzenb@bio.krc.ru
Ильина Татьяна Николаевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: ilyina@bio.krc.karelia.ru
Баишникова Ирина Валерьевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск,e-mail: iravbai@mail.ru

Vladimir V. Belkin
PhD (Biology), Leading Research Associate of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: ffyodoroff@inbox.ru
Viktor A. Ilyukha
Dr. of Biology, Director of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: ilyukha@bio.krc.karelia.ru
Eugene A. Khizhkin
PhD (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Senior Lecturer of the Institute of Physical Education, Sport and Tourism of PetrSU, Petrozavodsk; e-mail: hizhkin84@mail.ru
Alina E. Yakimova
PhD (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: angelina73@mail.ru
Fyodor V. Fyodorov
PhD (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: ffyodoroff@inbox.ru
Ekaterina P. Antonova
PhD (Biology), Research Associate of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: antonova88ep@mail.ru
Aleksandra G. Kizhina
PhD (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: golubewa81@yandex.ru
Lyudmila B. Uzenbaeva
PhD (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: uzenb@bio.krc.ru

Tatiana N. Ilyina
PhD (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: ilyina@bio.krc.karelia.ru
Irina V. Baishnikova
PhD (Biology), Senior Researcher of the Institute of Biology of Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk; e-mail: iravbai@mail.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.008
УДК 599.731.1:591.133.16:591.522 (470.22)

С. Н. Калинина[1,2], Д. В. Панченко[1], И. В. Баишникова[1], Е. П. Антонова[1], В. А. Илюха[1], В. В. Шакун[3], И. А. Зайцева[2]
[1]*Институт биологии ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук»*
[2]*Петрозаводский государственный университет*
[3]*Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам»*

АНТИОКСИДАНТНЫЙ И ВИТАМИННЫЙ СТАТУСЫ КАБАНА *SUSS CROFA* L. (ARTIODACTYLA) НА ПЕРИФЕРИИ АРЕАЛА (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

Аннотация

Исследовали активность антиоксидантных ферментов, содержание глутатиона, α-токоферола и ретинола в органах кабанов *Suss crofa* L. 1758 разного пола и возраста (0,5–5 лет), обитающих на периферии ареала (Лахденпохский район, Карелия). Результаты указывают на относительную стабильность антиоксидантного статуса животных, поддерживаемую в течение жизни. Накопление ретинола в печени с возрастом является отражением адекватного поступления витамина А с пищей.

Ключевые слова:
кабан, антиоксиданты, α-токоферол, ретинол, адаптация, периферия ареала, Республика Карелия.

Svetlana N. Kalinina[1,2], Danila V. Panchenko[1], Irina V. Baishnikova[1], Ekaterina P. Antonova[1], Victor A. Ilyukha[1], VasiliyV. Shakun[3], Irina I. A. Zaytseva[2]
[1]*Institute of biology Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences*
[2]*Petrozavodsk State University*
[3]*Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Bioresources*

ANTIOXIDANT AND VITAMIN STATUS IN WILD BOAR *SUS SCROFA* L., (ARTIODACTYLA) ON THE RANGE PERIPHERY (REPUBLIC OF KARELIA)

Abstract

We studied the activity of antioxidant enzymes, the contents of glutathione, α-tocopherol and retinol in the organs of wild boars (*Sus scrofa* L. 1758) of different sex and age (0,5–5 years) (n = 21) living on the periphery of the range (Lakhdenpohsky region, Karelia). The results indicate the relative stability of the antioxidant status of animals, maintained throughout life. The age-related accumulation of retinol in the liver appears to be a reflection of the adequate intake of vitamin A from food.

Keywords:
wild boar, antioxidants, α-tocopherol, retinol, adaptation, range periphery, Republic of Karelia.

Введение

Изучение динамических процессов устойчивости и механизмов адаптаций охотничьих животных, обитающих в условиях оптимума и на периферии ареалов, является одной из важных задач. Кабан *Suss crofa* L. 1758 имеет самый широкий ареал среди видов семейства Suidae (Mammalia: Artiodactyla) и является одним из наиболее широко распространенных видов наземных млекопитающих. Стремительное расширение ареала этого зверя во второй половине XX в. на Европейском Севере России привело к освоению им нехарактерных территорий [Русаков, 1979; Данилов, 2005]. В Республике Карелия суровые условия для существования кабана за пределами его исторического ареала определяют низкую численность поголовья.

С начала 2000-х гг. наблюдается увеличение численности вида: показатель учета в среднем по области распространения в Карелии возрос с 0,15 следов на 10 км (2000 г.) до 0,9 (2018 г.). Абсолютная численность популяции составляет около 1500 особей. Относительно благоприятные для кабана ландшафтно-климатические условия находятся на юге республики. Сельскохозяйственное освоение территории — главный фактор, который определяет здесь повышенную численность популяции за многолетний период наблюдений. Случаи захода кабанов на север, далеко за пределы современного распространения вида, регистрируются ежегодно и объясняются их высокой подвижностью в поисках корма и в период гона [Данилов, Панченко, 2012].

Изучение физиологических особенностей животных, которые обитают в пессимальных экологических условиях, позволяет выявить механизмы взаимодействия организма с внешней средой и дать практические рекомендации для научно обоснованного управления популяцией этого важного охотничьего вида.

В природе дикие животные подвержены воздействию абиотических и биотических факторов, которые, в свою очередь, влияют на уровень окислительного стресса и его последствия [Marker-dependent…, 2016]. Физиологические процессы, связанные с ростом, репродукцией и выживанием, сопряжены с определенными типами окислительных повреждений и изменениями уровня тех или иных антиоксидантов. Следовательно, надежность системы антиоксидантной защиты играет важную роль в адаптации животных [Marker-dependent…, 2016].

Антиоксидантная защита тканей рассматривается как система неспецифической резистентности организма к действию факторов среды. Витамины выполняют функцию коферментов в ферментативных реакциях метаболизма чужеродных веществ, являются антиоксидантами, участвуют в процессах роста, в иммунной защите и т. д. Это позволяет рассматривать биохимические маркеры витаминного статуса в качестве одного из критериев интегральной оценки адаптационных резервов организма в условиях Севера.

Исследования изменения уровня антиоксидантной защиты организма кабанов в зависимости от эколого-геохимических особенностей среды обитания выполнены в южной Испании [Heavy metal…, 2009] и северо-западной Польше [Activity..., 2015]. Мониторинг физиолого-биохимического состояния, в частности, антиоксидантного и витаминного статусов этих животных на периферии ареала ранее не проводился.

Цель работы состояла в изучении уровня некоторых антиоксидантов и витаминов в органах кабанов разного возраста, обитающих на северной периферии ареала в пределах Республики Карелия.

Материалы и методы

Объектами исследования служили кабаны *Suss crofa* разного пола в возрасте от полугода до 5 лет, обитающие в Лахденпохском районе Карелии. Обследовано 21 животное (0,5 года $n = 3$; 1 год $n = 1$; 2 года $n = 9$; 3 года $n = 1$; 4 года $n = 4$; 5 лет $n = 3$).

Полугодовалые особи — это поросята, половая зрелость у молодых кабанов наступает в возрасте 1,5–2,5 лет. Отбор биологического материала проводили у кабанов, легально добытых в период охоты с августа по ноябрь 2018 г. Образцы тканей отбирали в течение 2–4 часов после гибели животных, замораживали и хранили до анализа при температуре –80 °С. В пробах печени, почек, сердца и скелетной мышцы анализировали: активность антиоксидантных ферментов супероксиддисмутазы (СОД) и каталазы; уровень восстановленного глутатиона (GSH) (спектрофотометрически); содержание α-токоферола и ретинола (методом ВЭЖХ — высокоэффективной жидкостной хроматографии).

Для определения активности антиоксидантных ферментов и содержания белка готовили гомогенаты тканей в 0,05 М фосфатном буферном растворе с pH 7,0. После центрифугирования при 6000 g в течение 15 минут в полученных супернатантах спектрофотометрически измеряли активность ферментов: СОД — по модифицированной адренохромной методике [Misra, Fridovich, 1972]; каталазы — по количеству разложенной H_2O_2 [Bears, Sizer, 1952].

За 1 условную единицу активности СОД принимали количество фермента, способное затормозить реакцию автоокисления адреналина на 50 %, за 1 единицу активности каталазы — количество микромолей H_2O_2, разложенной за 1 минуту. Содержание белка определяли по методу Лоури [Protein..., 1951] с использованием бычьего сывороточного альбумина в качестве стандарта. Удельную активность антиоксидантных ферментов рассчитывали на 1 мг белка.

Содержание GSH определяли по методу Эллмана [Sedlak, Lindsay, 1968] и выражали в микромолях на 1 г ткани (мкмоль/г). Для этого готовили гомогенаты тканей органов в 0,02 М этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА)-Na_2, после центрифугирования (в течение 15 минут при 5000 g) к супернатантам добавляли 50 %-ю трихлоруксусную кислоту (ТХУ) для осаждения белков, затем вновь центрифугировали (15 минут при 3000 g). В полученных супернатантах после добавления 0,4 М трис-буферного раствора и реактива Эллмана (pH полной реакционной смеси составлял 8,0) спектрофотометрически (λ = 412 нм) определяли уровень GSH.

Для анализа содержания витаминов навески тканей (по 100 мг) гомогенизировали в 0,25 М растворе сахарозы (pH 7,4), содержащей 0,001 М этилендиаминтетрауксусной кислоты. В конические полиэтиленовые пробирки вносили 0,25 мл гомогената, добавляли 0,25 мл 0,025 % раствора бутилокситолуола в этаноле, тщательно смешивали содержимое пробирки для осаждения белков, затем добавляли 0,5 мл 0,0125 % раствора бутилокситолуола в н-гексане, встряхивали в течение 5 минут, центрифугировали 10 минут при 3000 g и оставляли образцы на холоде на 40 минут. В гексановом слое на микроколоночном жидкостном хроматографе «Милихром 6» с УФ-детектором определяли концентрации α-токоферола и ретинола. Элюентом служила смесь гексана с изопропанолом в соотношении 98,5:1,5. Для построения калибровочных кривых использовали стандартные растворы ретинола и α-токоферола (Sigma, США).

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук».

Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами статистики в программах MS Excel и Statgraphics Plus 5.0. Для оценки влияния факторов «возраст» и «пол» применяли одно- и многофакторный анализ (ANOVA/ MANOVA). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Изучали влияние пола на исследуемые показатели в тех возрастных группах, где это было возможно. В связи с тем, что достоверного влияния этого фактора обнаружено не было, данные по особям разного пола были сведены воедино.

Результаты и обсуждение

Данные о возрастных изменениях уровней антиоксидантов у млекопитающих достаточно противоречивы, что обусловлено целым рядом факторов (видовой принадлежностью, полом, возрастным диапазоном исследований, спецификой исследуемых органов). Отмечают либо относительную стабильность показателей антиоксидантной защиты в течение жизни (енотовидные собаки [Возрастные…, 2019], крысы [Matsuo et al., 1992; Elbarbry, Alcorn, 2009]), либо смешанный паттерн возрастных изменений — увеличение уровня одних антиоксидантов и снижение уровня других (лисицы, песцы [Возрастные…, 2019], крысы [Sohal et al., 1990; Elbarbry, Alcorn, 2009]).

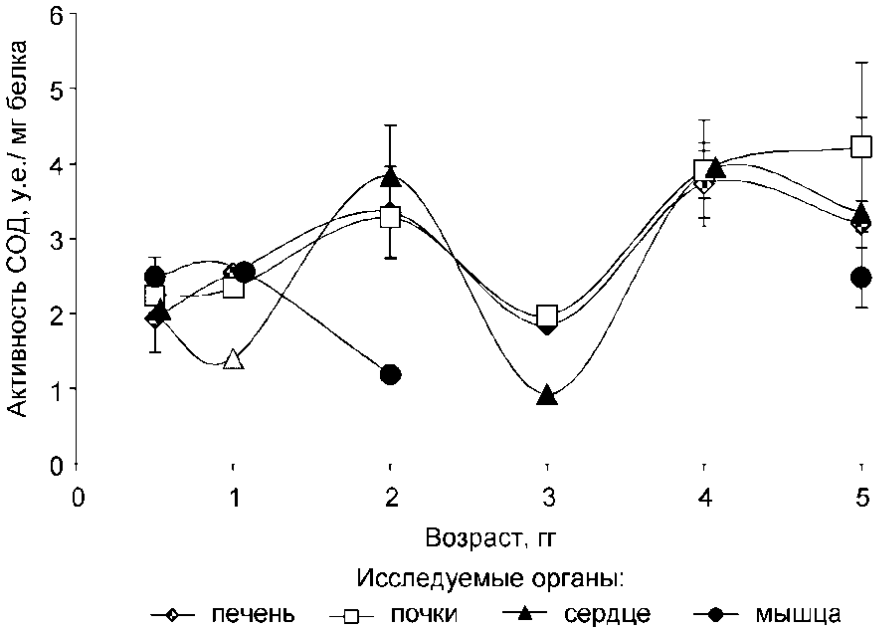


Рис. 1. Активность фермента супероксиддисмутазы в органах кабанов разного возраста (MANOVA: $p > 0,05$)

В нашем исследовании влияния возраста животных на активность антиоксидантных ферментов и содержание GSH в органах кабана не выявлено (рис. 1–3), что согласуется с данными, полученными на других видах млекопитающих (енотовидные собаки [Возрастные…, 2019], крысы [Matsuo et al., 1992; Age-related…, 2004]). Показана тканеспецифичность изученных показателей. Так, активность СОД в разных органах кабанов находилась практически на одном уровне, за исключением ее снижения в возрасте 1 и 3 лет

в сердце и 2 и 5 лет в мышце (рис. 1). Активность каталазы уменьшалась в ряду *печень — почки — сердце — мышца* (рис. 2). Уровень глутатиона, напротив, был более высоким в мышцах и сердце и более низким — в почках и печени (рис. 3).

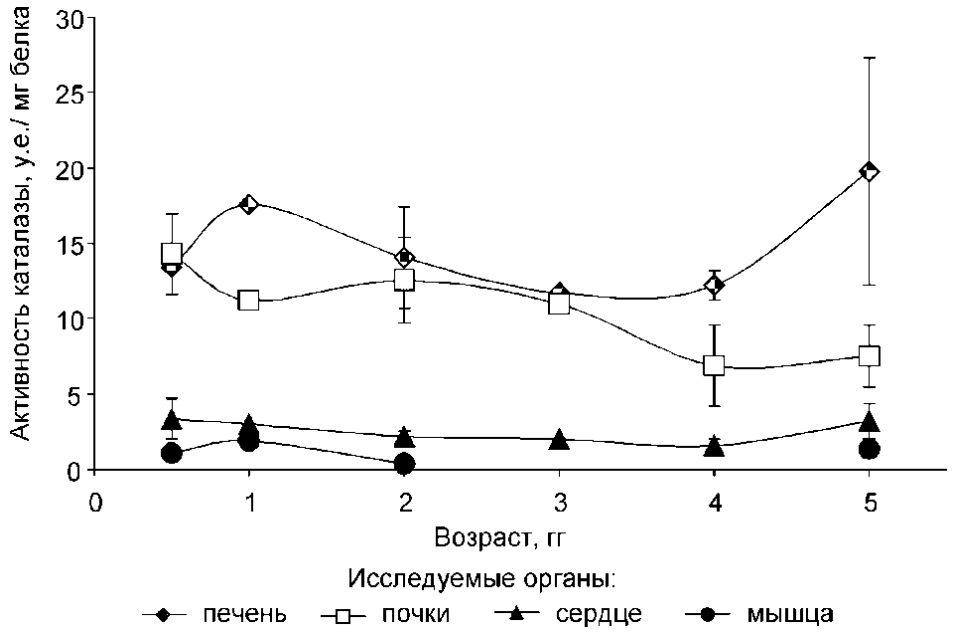


Рис. 2. Активность фермента каталазы в органах кабанов разного возраста (MANOVA: $p > 0,05$)

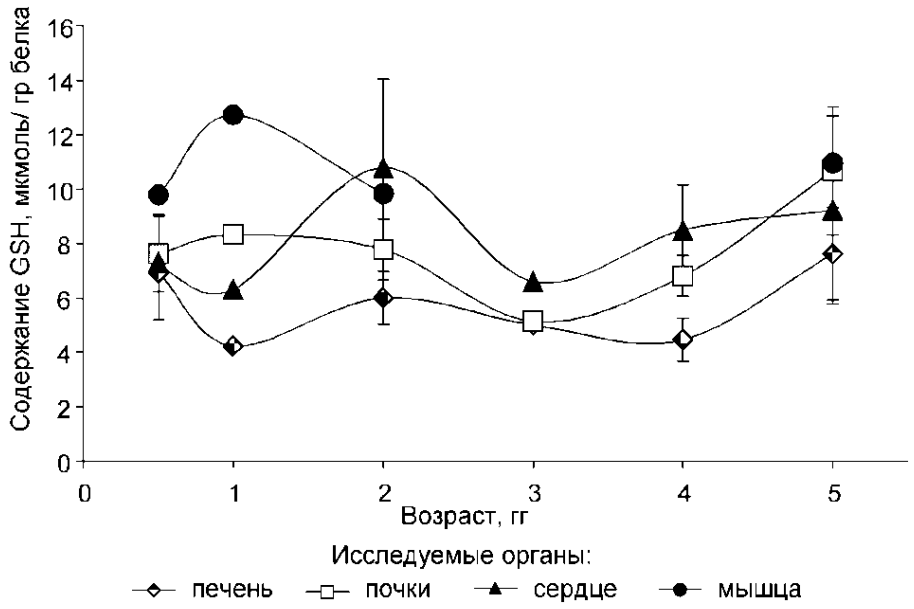


Рис. 3. Содержание глутатиона (GSH) в органах кабанов разного возраста (MANOVA: $p > 0,05$)

В условиях Севера в организме происходит переключение метаболизма с углеводного типа на липидный, поэтому особое значение приобретает обеспеченность жирорастворимыми витаминами А и Е — антиоксидантами и регуляторами многих физиологических процессов. Витамин Е является гепатопротектором, противовоспалительным и иммуномодулирующим агентом, участвует в клеточном сигналинге и регуляции транскрипции генов. Его наиболее активная форма — α-токоферол — участвует в поддержании гомеостаза тканей, систем органов и организма в целом, выступает в качестве важнейшего регулятора окислительных процессов [The European…, 2002]. Дефицит витамина Е, обусловленный активизацией процессов свободнорадикального окисления при неблагоприятных природно-климатических воздействиях, выявлен у 30 % жителей Европейского Севера России [Обеспеченность..., 2008].

В нашем исследовании у кабанов показана тканеспецифичность уровня витаминов. Так, содержание α-токоферола уменьшалось в ряду *печень — почки — сердце — мышца* (рис. 4), тогда как содержание ретинола было самым высоким в печени, по сравнению с другими органами, где его уровень был крайне мал (рис. 5).

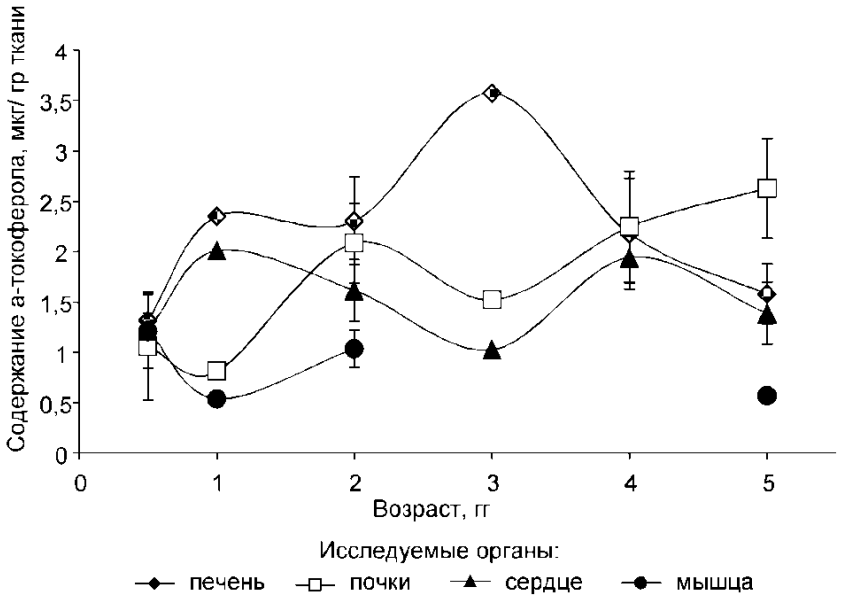


Рис. 4. Содержание α-токоферола в органах кабанов разного возраста (MANOVA: $p > 0{,}05$)

Нами не было выявлено влияния возраста животных на содержание α-токоферола в органах кабанов (рис. 4) (ANOVA: $p > 0{,}05$, напротив, в других исследованиях было показано возрастное увеличение уровня витамина Е в тканях стареющих крыс [Matsuo et al., 1992], в почках песцов [Возрастные..., 2019] и в почках и крови полярных медведей [Vitamins A..., 2016]. В последнем случае, по мнению авторов, это является отражением изменения рациона у взрослых особей и/или связано с нагрузкой поллютантами [Vitamins A..., 2016].

Витамин А — важный нутриент, который доставляется в ткани в виде ретинола, он осуществляет свои функции посредством двух активных метаболитов — ретиналя и ретиноевой кислоты. Печень играет важную роль

в гомеостазе витамина А, так как является основным органом депонирования этого витамина и биотрансформации ретиноидов [Wolf, 2001]. Что касается нашего исследования, в печени отмечено достоверное влияние возраста на уровень ретинола (ANOVA: df = 5, F = 3,84, $p < 0,05$) (рис. 5), что согласуется с данными, полученными на песцах [Возрастные..., 2019].

Витамин А необходим для зрения, реализации иммунного ответа, играет роль в процессе минерализации костей, важен для репродуктивной функции, отвечает за дифференцировку и рост клеток. Ретинол является малоактивной формой витамина А, его возрастное накопление в печени кабанов отражает достаточное поступление этого витамина с пищей и, возможно, является компенсаторным механизмом, который уравновешивает связанный с возрастом окислительный стресс и представляет собой саморегулируемую защитную адаптацию.

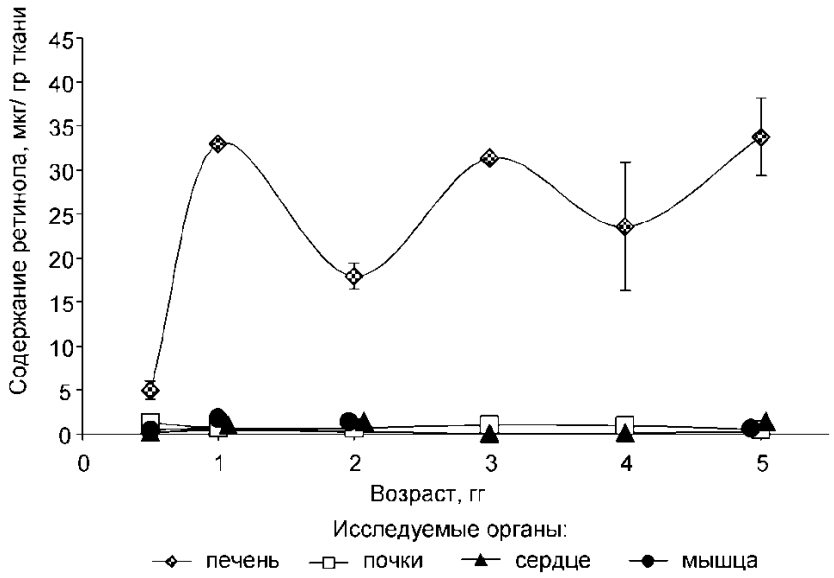


Рис. 5. Содержание ретинола в органах кабанов разного возраста

В последующем для более полного понимания роли антиоксидантной защиты при старении организма копытных млекопитающих представляется необходимым изучить максимально возможное количество маркеров окислительного стресса (уровень продукции активных форм кислорода, степень окислительных повреждений макромолекул, активность антиоксидантных ферментов и содержание низкомолекулярных антиокислителей). Также будет актуально провести анализ корреляций между уровнем окислительного стресса и такими показателями, как содержание микро- и макроэлементов (ртути, кадмия, меди, марганца, свинца, цинка, железа, никеля, кобальта, магния) в организме животных. Биогеохимическая среда Севера из-за бедных подзолистых почв, мягкой и слабоминерализованной питьевой воды создает предпосылки для нарушений минерального обмена, поскольку для Европейского Севера характерна недостаточность кальция, магния, фосфора, йода, фтора, селена, кобальта, меди и др. в почве и питьевой воде [Биогеохимическая..., 2007].

Отклонения в содержании микро- и макроэлементов, вызванные пищевыми, климато-географическими факторами, могут приводить к нарушениям физиологических функций [Жестяников, 2005; Биогеохимическая..., 2007].

Заключение

Таким образом, результаты нашего исследования согласуются с данными, полученными на других млекопитающих (крысы, енотовидные собаки, лисицы, песцы, полярные медведи), и свидетельствуют об относительной стабильности антиоксидантного статуса в течение жизни и о возрастном увеличении уровня ретинола в печени, которая является органом, наиболее быстро реагирующим на изменение уровня витамина А в организме и выполняющим гомеостатическую функцию, позволяя организму адаптироваться к изменениям условий внешней среды [Age-related…, 2004]. С большой вероятностью на данном этапе исследований можно утверждать, что кабан достаточно хорошо адаптирован к обитанию в условиях Карелии.

Исследование осуществлялось из средств федерального бюджета (темы государственного задания КарНЦ РАН № 0218-2019-0073, №0218-2019-0080) и при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-54-00018 Бел_а.

Литература

Биогеохимическая характеристика северных регионов. Микроэлементный статус населения Архангельской области и прогноз развития эндемических заболеваний / А. Л. Горбачев [и др.] // Экология человека. 2007. № 1. С. 4–11.

Возрастные изменения тканевой антиоксидантной защиты у представителей сем. Canidae / *С.* Н. Сергина [и др.] // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2019. № 55 (1). С. 51–58.

Данилов П. И. Охотничьи звери Карелии: экология, ресурсы, управление, охрана. М.: Наука, 2005. 340 с.

Данилов П. И., Панченко Д. В. Расселение и некоторые особенности экологии кабана за северным пределом его исторического ареала в европейской части России // Экология. 2012. № 1. С. 48–54.

Жестяников А. Л. Дисбаланс некоторых макро- и микроэлементов как фактор риска заболеваний сердечно-сосудистой системы на Севере // Экология человека. 2005. № 9. С. 19–25.

Обеспеченность населения Севера жирорастворимыми витаминами / Е. Р. Бойко [и др.] // Вопросы питания. 2008. № 77 (3). С. 64–67.

Русаков О. С. Современное состояние природных ресурсов, экология и вопросы хозяйственного использования копытных Северо-Запада СССР // Копытные Северо-Запада СССР. Л.: Наука, 1979. С. 63–293.

Activity of antioxidant enzymes in the liver of wild boars (*Sus scrofa*) from a selenium-deficient area depending on sex, age, and season of the year / D. Jankowiak [et al.] // Turk. J. Biol. 2015. Vol. 39 (1). P. 129–138.

Age-related changes of vitamin A status / B. Loo, van der [et al.] // J. Cardiovasc. Pharmacol. 2004. Vol. 43 (1). P. 26–30.

Bears R. F., Sizer I. N. A spectral method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase // J. Biol. Chem. 1952. Vol. 195. P. 133–140.

Elbarbry F., Alcorn J. Ontogeny of glutathione and glutathione-related antioxidant enzymes in rat liver // Res. Vet. Sci. 2009. Vol. 87. No. 2. P. 242–244.

Heavy metal exposure in large game from a lead mining area: effects on oxidative stress and fatty acid composition in liver / M. M. Reglero [et al.] // Environ. Pollut. 2009. Vol. 157 (4). P. 1388–1395.

Marker-dependent associations among oxidative stress, growth and survival during early life in a wild mammal / L. L. Christensen [et al.] // Proc. R. Soc. 2016. Vol. B. 283. No. 1840. A. N. 20161407.

Matsuo M., Gomi F., Dooley M. M. Age-related alterations in antioxidant capacity and lipid peroxidation in brain, liver, and lung homogenates of normal and vitamin E — deficient rats // Mech. Ageing Dev. 1992. Vol. 64. P. 273–292.

Misra H. P., Fridovich F. The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase // J. Biol. Chem. 1972. Vol. 247. No. 10. P. 3170–3175.

Protein measurement with the Folin phenol reagent / O. H. Lowry [et al.] // J. Biol. Chem. 1951. Vol. 193. No. 1. P. 265–275.

Sedlak J., Lindsay R. H. Estimation of total, protein-bound and non-protein sulfhydryl groups in tissue with Ellman's reagent // Anal. Biochem. 1968. Vol. 25. P. 192–205.

Sohal R. S., Arnold L. A., Sohal B. H. Age-related changes in antioxidant enzymes and prooxidant generation in tissues of the rat with special reference to parameters in two insect species // Free Rad. Biol. Med. 1990. Vol. 9. No. 6. P. 495–500.

The European perspective on vitamin E: current knowledge and future research / R. Brigelius-Flohé [et al.] // Am. J. Clin. Nutr. 2002. Vol. 76 (4). P. 703–716.

Vitamins A and E in liver, kidney, and whole blood of East Greenland polar bears sampled 1994–2008: reference values and temporal trends / T. Bechshoft [et al.] // Polar Biol. 2016. Vol. 39. P. 743–754.

Wolf G. Retinoic acid homeostasis: retinoic acid regulates liver retinol esterification as well as its own catabolic oxidation in liver // Nutr. Rev. 2001. Vol. 59 (12). P. 391–394.

Сведения об авторах

Калинина Светлана Николаевна
кандидат биологических наук, зав. лабораторией экологической физиологии животных Института биологии Карельского научного центра РАН; доцент кафедры физиологии человека и животных, патофизиологии, гистологии Медицинского института ПетрГУ, Петрозаводск; e-mail: cvetnick@yandex.ru

Панченко Данила Владимирович
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории зоологии Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск;
e-mail: danja@inbox.ru

Баишникова Ирина Валерьевна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической физиологии животных Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: iravbai@mail.ru

Антонова Екатерина Петровна
кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории экологической физиологии животных Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: antonova88ep@mail.ru

Илюха Виктор Александрович
доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологической физиологии животных, директор Института биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск; e-mail: ilyukha@krc.karelia.ru

Шакун Василий Васильевич
кандидат биологических наук, зав. лабораторией экологии наземных позвоночных и управления биоресурсами Государственного научно-производственного объединения «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам», Минск; e-mail: terioforest@tut.by
Зайцева Ирина Алексеевна
студентка Петрозаводского государственного университета, Петрозаводск; e-mail: iravbai@mail.ru

Svetlana N. Kalinina
PhD (Biology), Head of the Laboratory of Ecological Physiology of the Animals, Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IB KarRC RAS), Petrozavodsk, Petrozavodsk State University, Petrozavodsk; e-mail: cvetnick@yandex.ru
Danila V. Panchenko
PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Ecological Physiology of the Animals IB KarRC RAS, Petrozavodsk; e-mail: danja@inbox.ru
Irina V. Baishnikova
PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Ecological Physiology of the Animals IB KarRC RAS, Petrozavodsk; e-mail: iravbai@mail.ru
Ekaterina P. Antonova
PhD (Biology), Researcher of the Laboratory of Ecological Physiology of the Animals IB KarRC RAS, Petrozavodsk; e-mail: antonova88ep@mail.ru
Victor A. Ilyukha
PhD (Biology), Director of the Institute of Biology, Head Researcher of the Laboratory of Ecological Physiology of the Animals IB KarRC RAS, Petrozavodsk; e-mail: ilyukha@krc.karelia.ru
Vasiliy V. Shakun
PhD (Biology), Head of the Laboratory of Population Ecology of Terrestrial Vertebrates and Bioresource Management, SSPA “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus on Bioresources”, Minsk; e-mail: terioforest@tut.by
Irina A. Zaytseva
Student, Petrozavodsk State University, Petrozavodsk; e-mail: iravbai@mail.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.009
УДК 61:577.1

Н. Л. Соловьевская, П. С. Терещенко
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БОС-ТЕРАПИИ МЕТОДОМ ГАЗОРАЗРЯДНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Аннотация

Представлены результаты исследований психофизиологического состояния женщин до и после применения курса БОС-терапии с обучением диафрагмальному дыханию. Оценка психофизиологического состояния проведена методом газоразрядной визуализации. Выявлены позитивные статистически значимые изменения психофизиологических показателей после проведенного курса БОС-терапии, что дает возможность применять метод для оптимизации адаптационных возможностей организма в экстремальных условиях.

Ключевые слова:
газоразрядная визуализация, биологическая обратная связь, диафрагмальное дыхание, психофизиологическое состояние, психоэмоциональное напряжение.

Natalya L. Solovievskaya, Pavel S. Tereshchenko
Research Centre for Human Adaptation in the Arctic of Kola Science Centre of RAS

ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF BIOFEEDBACK THERAPY BY THE GDV METHOD

Abstract

The results of studies of the psychophysiological state of women, before and after applying the course of biofeedback therapy and training in diaphragmatic breathing, are presented. Assessment of the psychophysiological state was carried out by gas discharge visualization. Positive statistically significant changes in psychophysiological parameters were revealed after the course of biofeedback therapy. This makes it possible to apply the method to optimize the adaptive capabilities of the body in extreme conditions.

Keywords:

gas discharge visualization, biofeedback, diaphragmatic respiration, psychophysiological condition, psychoemotional stress.

Введение

Синдром психоэмоционального напряжения является одним из вариантов психофизиологической адаптации организма к экстремальным условиям Крайнего Севера [Короленко, 1975, 1978; Авцын и др., 1998; Белишева, 2012]. Успешная адаптация необходима для нормального функционирования организма и активной жизнедеятельности в Арктике. Психолого-коррекционное воздействие, возможно, является наиболее важным из основных ресурсов для профилактики психосоматических расстройств. Метод биологической обратной связи (БОС) в комплексе с современными компьютерными игровыми технологиями имеет право на более широкое применение для оздоровления детей и взрослых. При возникновении стрессовых ситуаций изменяется частота пульса, что обусловлено колебаниями вагусной и симпатической активности. Колебания частоты сердечных сокращений, вызванные вагусными влияниями, отражают активность поперечно-полосатой мускулатуры и, в какой-то мере, характеризуют поведенческие реакции [Obrist, 1976]. Включение симпатических реакций без соответствующего метаболического сопровождения может стать механизмом, через который поведенческие реакции вызывают некоторые патологические состояния, например, гипертензивного типа [Сороко, Трубачев, 2010]. Обучение оптимальному типу диафрагмального дыхания развивают способности контролировать свое психоэмоциональное состояние [Пеппер, Тивбетт, 1999]. Другие ученые указывают на возможность контролировать сердечный ритм методом БОС [Heart rate…, 2008]. Установлено, что при медленном дыхании (6 раз в минуту) выражена модуляция частоты сердечных сокращений на частоте 0,1 Гц, резонансной для барорефлекторной системы [Исследование..., 1983]. С помощью метода БОС можно усиливать барорефлекторный резонанс и оказывать лечебное воздействие на такие патологические состояния, как бронхиальная астма, гипервентиляционный синдром, гипотония, боль, панические атаки, страх, депрессия, синдромы хронической усталости и психоэмоционального выгорания в профессии [Сороко, Трубачев, 2010].

Цель исследования состояла в оценке эффективности метода биологической обратной связи с применением метода газоразрядной визуализации (ГРВ).

Материалы и методы

Исследования проводили на группе практически здоровых женщин (15 чел.) зрелого возраста, средний возраст которых составил 51,7 ± 9,2 лет (от 45 до 55). Планировали по 12 индивидуальных занятий (вводное, 10 тренировочных,

заключительное), обучающих диафрагмальному типу дыхания и навыкам психофизиологической саморегуляции методом БОС. Фактически с каждой женщиной проведено от 8 до 14 занятий.

Для оздоровительных тренингов использовали комплексную образовательно-профилактическую программу «Волна» (ООО «Научно-производственная фирма «Амалтея», г. Санкт-Петербург). Она позволяет в короткие сроки (10–15 сеансов) овладеть навыками нервно-мышечного расслабления, оптимизировать работу сердечно-сосудистой и дыхательной систем, научиться преодолевать и подавлять болезненные проявления, восстанавливать высокую работоспособность, хорошее самочувствие и настроение. Этому способствует использование игровых компьютерных технологий, основанных на принципе поощрения правильно выполняемых заданий и обеспечивающих высокую эмоциональную заинтересованность и нестандартность проведения коррекционных сеансов.

Предполагалось улучшение психофизиологического состояния у обследуемых после БОС-терапии. На протяжении всего лечебно-коррекционного курса инструктор контролировал правильность выполнения заданий, учитывая индивидуально-психологические особенности обучаемых.

Газоразрядная визуализация — это метод исследования биологических объектов путем анализа характеристик свечения, возникающего у поверхности объекта при помещении его в электрическое поле высокого напряжения. В основе метода лежит открытый в первой половине XX в. эффект Кирлиан, он позволяет делать экспресс-оценку функционального состояния организма на психоэмоциональном и физиологическом уровнях [Application..., 2001]. Все исследования проводили с использованием импульсного анализатора «ГРВ-камера» (ООО «Биотехпрогресс»). Полученные ГРВ-граммы обрабатывали в программе GDV Energy Field. Определяли площадь (*S*), энтропию (*E*), коэффициент формы (*K*) и симметрию (*C*) свечения до и после занятия.

В результате обработки в данной программе все показатели свечения, кроме симметрии, представляются в трех проекциях: правой (r), фронтальной (f), левой (l). По трем проекциям рассчитывали средний показатель. Симметрия была представлена во фронтальной проекции.

Проводили съемку ГРВ-грамм пальцев рук: «без фильтра» (Sr; Sf; Sl; S; Er; Ef; El, E; Kr; Kf; Kl; K; C); «с фильтром» (Sr2; Sf2; Sl2; S2; Er2; Ef2; El2, E2; Kr2; Kf2; Kl2; K2; C2).

При обследовании соблюдали определенные условия, требуемые для ГРВ-тестирования в этих режимах. Применение фильтра при проведении съемки — пленки на электроде из специального полиэтилена — устраняет влияние физиологических процессов (перспирации, потоотделения, выделения газов), контролируемых вегетативной нервной системой [Коротков, 2007].

Результаты и обсуждение

Изучение ГРВ-грамм в режиме «без фильтра» показало, что средние значения площади свечения в правой проекции достоверно выросли у испытуемых после оздоровительного курса почти на 6 % (до БОС Sr = 26277,8 ± 2054, после БОС 27838,8 ± 1826). Среднее значение площади свечения во фронтальной проекции до курса БОС было Sf = 24845 ± 2000, после занятий стало 26741 ± 1945, т. е. увеличилось на 8 %. Площадь свечения ГРВ-грамм в левой проекции в среднем выросла почти на 13 % (от Sl = 25279 ± 1863 до 27308 ± 1957). Значения площади во всех проекциях увеличились статистически значимо при $p < 0,05$ по критериям Стьюдента, Колмогорова — Смирнова и Манна — Уитни (рис. 1).

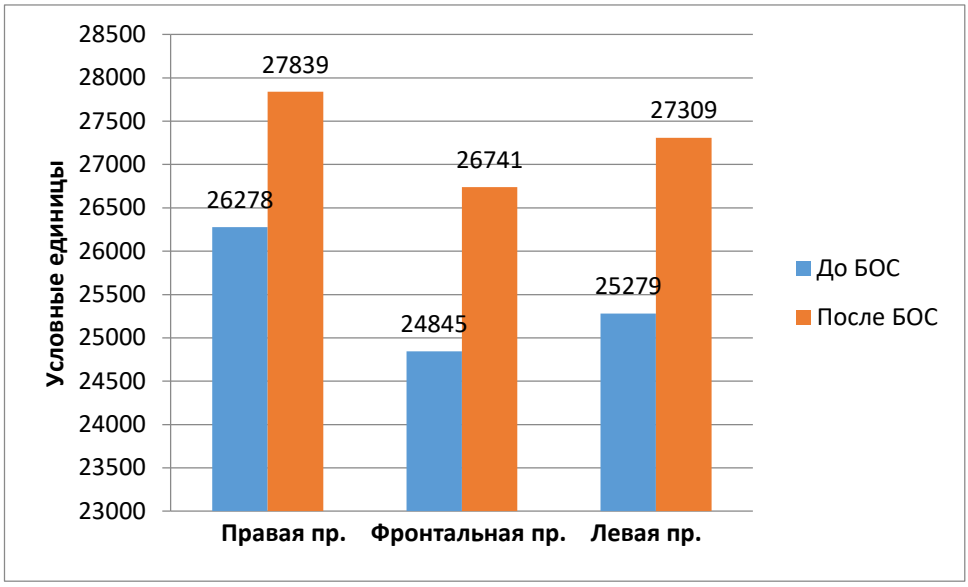


Рис. 1. Площадь свечения ГРВ-грамм до и после проведения БОС-терапии в режиме «без фильтра», $n = 15$

Средние показатели энтропии свечения ГРВ-грамм в режиме «без фильтра» после курса БОС значимо не изменились. До курса они составляли: в правой проекции Er = 3,72 ± 0,09; во фронтальной — Ef = 3,69 ± 0,13; в левой — El = 3,66 ± 0,14; после оздоровительных занятий: 3,75 ± 0,14; 3,63 ± 0,20; 3,68 ± 0,18 соответственно.

После коррекции методом БОС в режиме ГРВ-тестирования «без фильтра» снизились средние значения коэффициента формы. До БОС-терапии в правой проекции показатели были Kr = 13,60 ± 1,37, во фронтальной — Kf = 16,69 ± 2,43, в левой — Kl = 13,55 ± 1,79; после дыхательной практики стали: 12,54 ± 0,96; 14,98 ± 1,32; 12,39 ± 1,30 соответственно. Коэффициент формы значимо снизился в трех проекциях по *t*-критерию Стьюдента ($p < 0,05$) (рис. 2). При ГРВ-тестировании в режиме «без фильтра» в исследуемой группе после курса БОС статистически значимо выросли средние показатели площади свечения и снизились средние значения коэффициента формы во всех проекциях (табл.).

Изучение показателей ГРВ до и после БОС-терапии в режиме «с фильтром» в данной возрастной группе показало, что средняя площадь свечения ГРВ-грамм в правой проекции увеличилась на 11 %, во фронтальной — на 5 %, в левой — почти на 2 % (уровень значимости для Sr, Sf, Sl составил $p < 0,1$, $> 0,1$ и $> 0,1$ соответственно по *t*-критерию).

Показатели коэффициента формы с фильтром у женщин исследуемой группы значимо снизились ($p < 0,05$) в правой проекции, примерно на 5 % (рис. 3).

До БОС-терапии коэффициент формы в правой проекции составлял Kr2 = 13,15 ± 1,06, после БОС — 12,46 ± 0,98, то есть статистически заметно снизился. Несколько снизился коэффициент формы во фронтальной и левой проекциях, что может свидетельствовать о меньшей изрезанности контура свечения, то есть о гармонизации структуры свечения и улучшении физиологического состояния испытуемых. Значимых изменений энтропии в режиме «с фильтром» не наблюдалось.

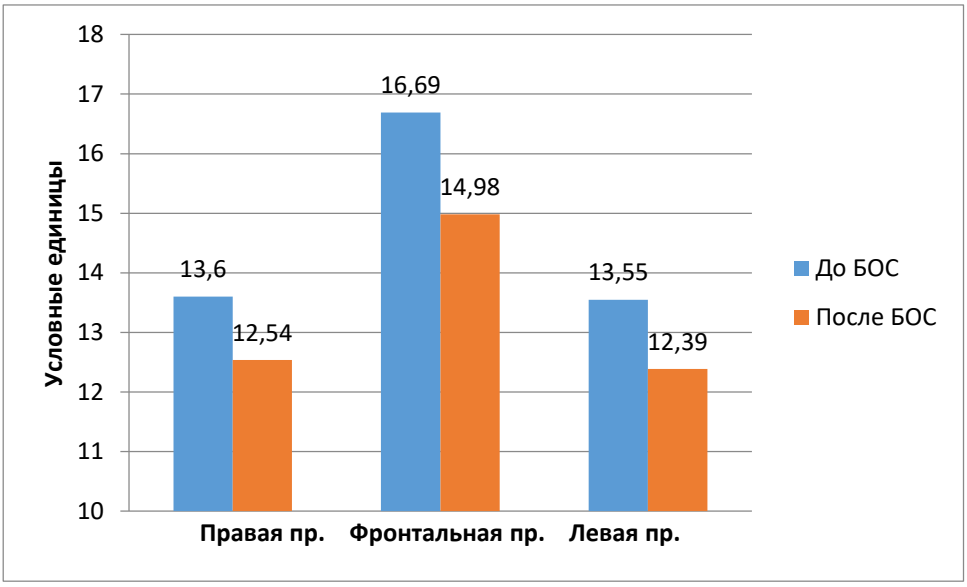


Рис. 2. Показатели коэффициента формы свечения ГРВ-грамм до и после проведения БОС-терапии в режиме «без фильтра», $n = 15$

Статистические показатели ГРВ «без фильтра»

Показатель	Среднее		*t*-значение	*p*	Стандартное отклонение		*p*-дисперсия
	до БОС	после БОС			до БОС	после БОС	
Sr	**26278**	**27839**	**-2,20**	**0,03**	**2054**	**1826**	**0,67**
Sf	**24845**	**26741**	**-2,63**	**0,01**	**2000**	**1945**	**0,92**
Sl	**25279**	**27309**	**-2,91**	**0,00**	**1863**	**1957**	**0,86**
Er	3,72	3,76	-0,88	0,38	0,09	0,14	0,08
Ef	3,69	3,64	0,78	0,44	0,13	0,20	0,13
El	3,66	3,68	-0,41	0,69	0,14	0,18	0,42
Kr	**13,60**	**12,54**	**2,47**	**0,02**	**1,36**	**0,96**	**0,19**
Kf	**16,69**	**14,98**	**2,40**	**0,02**	**2,42**	**1,32**	**0,03**
Kl	**13,55**	**12,39**	**2,02**	**0,05**	**1,79**	**1,30**	**0,24**

Примечание. Полужирным шрифтом выделены показатели, статистически значимые при $p < 0,05$, $n = 15$.

В итоге при исследовании ГРВ-грамм в режиме «с фильтром» произошли значимые изменения коэффициента формы свечения ГРВ-тестов в правой проекции на уровне $p < 0,05$ и незначительные изменения площади, больше в правой проекции ($p = 0,08$).

Значения симметрии в режиме «без фильтра» после БОС-терапии значимо выросли на уровне $p < 0,05$ по, а в режиме «с фильтром» — незначительно (рис. 4).

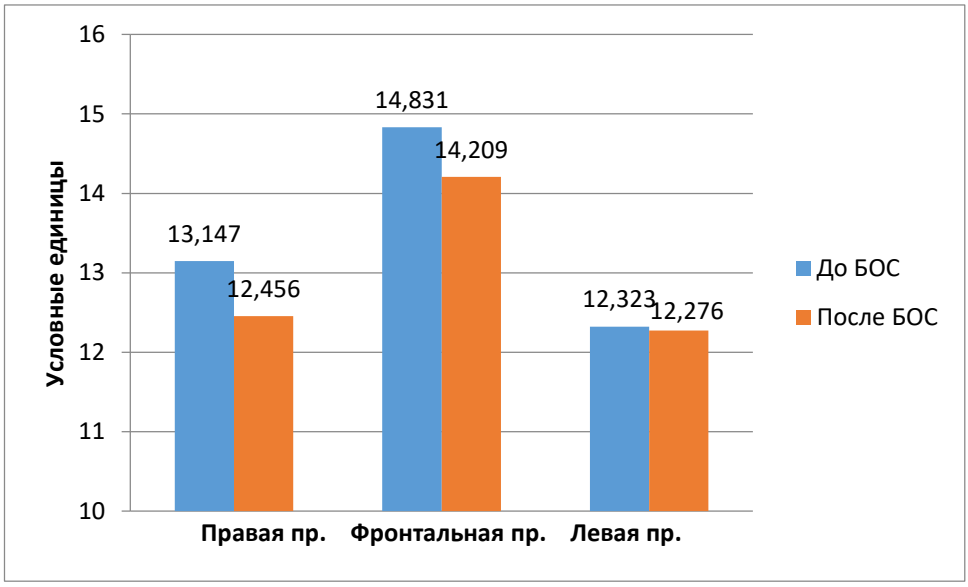


Рис. 3. Показатели коэффициента формы свечения ГРВ-грамм до и после БОС-терапии в режиме «с фильтром», $n = 15$

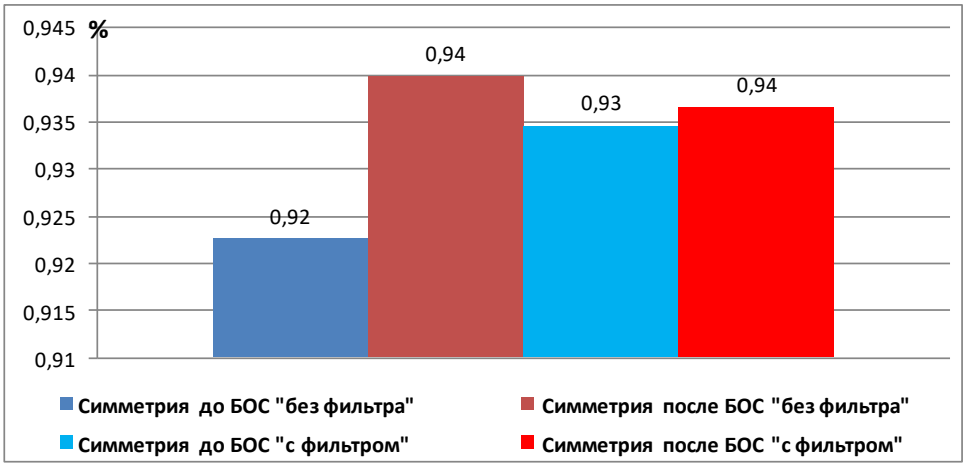


Рис. 4. Сравнение симметрии свечения ГРВ-грамм до и после проведения БОС-терапии «без фильтра» и «с фильтром», $n = 15$

Увеличение симметрии может свидетельствовать о снижении воздействия стрессирующих факторов на центральную регуляцию со стороны нервной системы. Показатели ГРВ-исследования, обработанные в программе GDV Energy Field, после оздоровительного курса БОС в контрольной группе статистически значимо изменились в положительную сторону.

В режиме «без фильтра» выросли средние показатели площади свечения (S), снизились средние значения коэффициента формы (K) во всех проекциях ГРВ-тестов и увеличилась симметрия ($p < 0{,}05$).

В режиме «с фильтром» произошли значимые изменения коэффициента формы в правой проекции на уровне $p < 0{,}05$ и незначительное увеличение

площади свечения, больше в правой проекции. Показатели энтропии и симметрии заметно не изменились. В режиме тестирования «без фильтра» произошли более существенные изменения показателей ГРВ-грамм.

Значимое увеличение площади и снижение коэффициента формы показывает повышение энергетического потенциала и уменьшение вклада симпатической нервной системы в регуляцию организма в ответ на воздействие окружающей среды. Этот факт может свидетельствовать о снижении тревожности и, как следствие, психоэмоционального напряжения у испытуемых женщин.

Выводы

В процессе изучения изменений психофизиологического состояния женщин в динамике БОС-терапии с обучением оптимальному типу диафрагмального дыхания методом ГРВ (биоэлектрографии) выявили следующее:

1. Более выраженные, статистически значимые позитивные изменения ГРВ-показателей произошли в режиме съемки «без фильтра», что свидетельствует о снижении лабильности вегетативной нервной системы в ответ на влияние факторов окружающей среды.

2. Позитивные изменения, произошедшие на соматическом уровне за короткий курс оздоровительной практики и обнаруженные при анализе «с фильтром», позволяют прогнозировать стойкий лечебно-оздоровительный эффект при систематическом использовании метода БОС и могут способствовать повышению адаптационных ресурсов определенных категорий граждан, проживающих в Евро-Арктическом регионе. Данная здоровьесберегающая методика подходит для сопровождения учебно-воспитательного процесса в школе и профессиональных учебных заведениях. Ее применение эффективно в профессиональных коллективах для профилактики психоэмоционального выгорания, предупреждения психосоматических расстройств и заболеваний.

Применение ГРВ в качестве тестирования психофизиологического состояния на данный момент показало эффективность и адекватность этого метода в плане точности и быстрой оценки результатов оздоровительной практики.

Литература

Авцын А. П., Марачев А. Г., Матвеев А. Н. Циркумполярный гипоксический синдром. М.: КРУК, 1998. 176 с.

Белишева Н. К. Эндогенная и экзогенная причинность заболеваемости на Севере // Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера / отв. ред. Е. Р. Бойко. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2012. С. 73–83.

Исследование резонансных характеристик сердечно-сосудистой системы / Е. Г. Ващилло [и др.] // Физиология человека. 1983. Т. 2. С. 257–265.

Короленко Ц. П. Психофизиология человека в экстремальных условиях. М.: Медицина, 1978. 272 с.

Короленко Ц. П., Соколов В. П. К вопросу эмоциональной напряженности и гипертензивных реакций // VI Всесоюз. съезд невропатологов и психиатров. М., 1975. С. 347–349.

Коротков К. Г. Принципы анализа в ГРВ-биоэлектрографии. СПб.: Реноме, 2007. 286 с.

Пеппер Э., Тивбетт В. Диафрагмальное дыхание без усилий // Биологическая обратная связь. 1999. № 1. С. 30–36.

Сороко С. И., Трубачев В. В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: Политехника-сервис, 2010. С. 49–61.

Application of electrophoton capture (EPC) analysis based on gas discharge visualization (GDV) technique in medicine: a systematic review / K. G. Korotkov [et al.] // J. Alternative and Complementary Medicine. 2001. Vol. 16. P. 13–25.

Heart rate variability response to alcohol, placebo, and emotional picture cue challenges: Effects of 0.1-Hz stimulation / E. G. Vaschillo [et al.] // Psychophysiology. 2008. Vol. 45 (5). P. 847–858.

Obrist P. The cardiovascular-behavioral interaction — as it appears today // Psychophysiology. 1976. Vol. 13. P. 95–107.

Сведения об авторах

Соловьевская Наталья Леонидовна
младший научный сотрудник Научно-исследовательского центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, e-mail: silva189@mail.ru
Терещенко Павел Сергеевич
кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, e-mail: tereshchenko_pash@mail.ru

Natalya L. Solovievskaya
Junior Researcher Research Centre for Human Adaptation in the Arctic of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, Apatity; e-mail: silva189@mail.ru
Pavel S. Tereshchenko
PhD (Medical), Senior Researcher Research Centre for Human Adaptation in the Arctic of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”, Apatity; e-mail: tereshchenko_pash@mail.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.010
УДК 612

П. С. Терещенко
Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»

СОДЕРЖАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ ДОШКОЛЬНИКОВ И ШКОЛЬНИКОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

С целью гигиенического обоснования и по причине актуальности внедрения комплекса мероприятий по оптимизации питания и профилактике алиментарно-зависимых заболеваний населения проведен анализ элементного состава образцов волос у детей дошкольного и школьного (подросткового) возраста, проживающих в разных районах Мурманской обл. Методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии определены концентрации 35 элементов. Показатели содержания серебра, магния, титана и цинка в биопробах волос детей школьного и дошкольного возраста являются общими для сравниваемых территорий (г. Апатиты и с. Ловозеро). Установлено повышение функциональной нагрузки, которую испытывает элементная система

организма в условиях комплексного воздействия факторов окружающей среды, что в итоге может привести к постепенному развитию патологических состояний.
Ключевые слова:
химические элементы, метаболизм,здоровье,дети,подростки,Мурманская обл.

Pavel S. Tereshchenko
Research Centre for Human Adaptation in the Arctic of Kola Science Centre of RAS

CONTENTS OF CHEMICAL ELEMENTS IN HAIR OF PRESCHOOL AND SCHOOL CHILDREN OF MURMANSK REGION

Abstract
For the purpose of hygienic substantiation and because of the relevance of implementing a set of measures to optimize nutrition and prevent nutritionally dependent diseases of the population, an analysis of the elemental composition of hair samples in children of preschool and school (teenage) age living in different regions of the Murmansk region was carried out. The atomic absorption spectrophotometry determined the content of 35 elements. Values in the content of silver, magnesium, titanium and zinc in biological samples of hair of children of school and preschool age are common for the compared territories (Apatity town and Lovozero village). An increase in the functional load that the elementary system of the body experiences under the complex influence of environmental factors is established, which ultimately can lead to the gradual development of pathological conditions.
Keywords:
chemical elements, metabolism, health, children, teenagers, Murmansk Region.

Введение

Каждый минеральный элемент в тканях организма тесно связан с его функциональной ролью. Будучи составными частями костей и зубов, минералы обеспечивают прочность и жесткость этих структур. В ионных состояниях в жидкостях организма они незаменимы для поддержания кислотно-щелочного равновесия и осмотического давления, а также для деятельности по интеграции с участием нервной и эндокринной систем. Как компоненты пигментов крови, ферментов и органических соединений в тканях и органах, они незаменимы для метаболических процессов, включая газообмен и энергетические транзакции.

Первые работы по изучению роли минеральных веществ появились в 1940–1950-х гг. [Обмен веществ..., 1983; Микроэлементозы..., 1991; Лемешева, Голованова, 2006]. В настоящее время число исследований минерального обмена растет, достигая ежегодно в мировой практике 10 тысяч [Бабенко, 2001; Скальный, 2004]. Это обусловлено внедрением новых диагностических технологий (атомно-адсорбционный анализ, инверсионная вольтамперометрия и др.), а также возросшей заболеваемостью [Агаджанян, Скальный, 2001; Fritz et al., 2017].

Многочисленными исследованиями установлено, что тяжелые металлы, хлорсодержащие вещества и другие поллютанты обладают выраженным канцеро- и мутагенным воздействием на организм человека [Эпидемиологическое..., 2004; Ревич, Шелепчиков, 2008; Nielsen, 1988; Continuous..., 2018]. В условиях Севера этот эффект может усиливаться за счет комплексного влияния на организм экстремальных природно-климатических условий и синдрома полярного напряжения, повышающего уязвимость организма [Ягья и др., 1984; Власова, Хофгаард, 2011].

В настоящее время в некоторых регионах Севера сложилась неблагоприятная экологическая ситуация, которая характеризуется интенсивным загрязнением воздуха, водоемов и почв высокотоксичными веществами, сильной

деградацией растительности на больших площадях [Власова, Хофгаард, 2011]. Устранение последствий вредного влияния производственных и экологических факторов внешней среды на здоровье населения только медицинскими мерами обходится гораздо дороже, чем осуществление мероприятий по сокращению или прекращению загрязнения окружающей среды и улучшению условий труда и жизнедеятельности. Поэтому санитарно-эпидемиологический надзор, наряду с другими мероприятиями по охране здоровья, является актуальной задачей в районах Севера с экологически кризисной обстановкой [Влияние..., 2011; Дегтева и др., 2011; Сидоров, 2011; Сидоров, Дегтева, 2011; Сидоров и др., 2011].

Цель работы — гигиеническое обоснование комплекса мероприятий по оптимизации питания и профилактике алиментарно-зависимых заболеваний населения.

Материалы и методы

Были выбраны районы Мурманской обл. с контрастными условиями проживания: г. Апатиты (67°34'00" с. ш., 33°24'00" в. д.) и с. Ловозеро (68°00'22" с. ш., 35°00'57" в. д.) [Доклад…, 2019]. Использовали неинвазивный метод — отбор волос в группах дошкольников (5–6 лет) и подростков (15–16 лет) [Cahill et al., 1983]. Каждая группа включала 35 человек.

Волосы как биообъект элементного анализа утверждены Всемирной организацией здравоохранения и Агентством охраны среды для оценки влияния токсичных металлов на организм. В связи с отсутствием стандартов содержания элементов в волосах результаты не должны использоваться для заключения специалистов в области профессиональной гигиены, допускается лишь предварительная оценка общих тенденций накопления металлов в популяции [Cikrt, Bencko, 1990].

Образцы волос анализировали согласно требованиям МАГАТЕ (International Atomic Energy Agency, Vienna, 1980) и методическим рекомендациям Федерального центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора России [Методические…, 2003]. Методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (на масс-спектрометре с индуктивно связанной аргоновой плазмой Agilent 7900) оценивали содержание в волосах 35 элементов: алюминий (Al), барий (Ba), бор (B), бериллий (Be), ванадий (V), германий (Ge), железо (Fe), йод (I), кадмий (Cd), калий (K), кальций (Ca), кобальт (Co), кремний (Si), литий (Li), магний (Mg), марганец (Mn), медь (Cu), молибден (Mo), мышьяк (As), натрий (Na), никель (Ni), олово (Sn), ртуть (Hg), рубидий (Rb), свинец (Pb), селен (Se), серебро (Ag), стронций (Sr), сурьма (Sb), талий (Tl), титан (Ti), фосфор (P), хром (Cr), цезий (Cs), цинк (Zn).

Обработка результатов измерений соответствовала ГОСТ 8.207. Статистический анализ результатов выполняли в программе Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Химические элементы, поступающие в организм с пищей, водой и воздухом, усваиваются и распределяются в органах и тканях, активно функционируют в них, выполняя роль строительного материала или регуляторов биохимических процессов, взаимодействуют друг с другом, депонируются и в конечном итоге выводятся из организма.

Физиологическое действие различных элементов зависит от их концентрации. Токсичные элементы (мышьяк, ртуть, сурьма, кадмий и др.) при низких дозах могут оказывать на организм лечебный эффект, тогда как натрий, калий, кальций, железо, магний и ряд других элементов в высоких концентрациях обладают

выраженным токсическим эффектом. Таким образом, элементный состав поступающих в организм веществ играет важную роль в формировании здоровья и самочувствия человека. В табл. 1 представлены показатели здоровья и благополучия подростков (Health behaviour in school-aged children — HBSC) по данным Всемирной организации здравоохранения [World…, 2016].

Таблица 1

Показатели здоровья и благополучия подростков (HBSC)

Возраст, пол	11 лет		13 лет		15 лет	
	девочки	мальчики	девочки	мальчики	девочки	мальчики
Доля подростков с избыточной массой тела либо с ожирением (индекс массы тела), %						
Россия	19	30	13	24	8	24
Среднее*	17	27	15	24	13	22
Доля подростков, считающих свое здоровье удовлетворительным или плохим (самооценка состояния здоровья), %						
Россия	15	11	23	11	28	14
Среднее*	10	9	16	11	21	13
Доля подростков, сообщающих о высокой степени удовлетворенности жизнью, %						
Россия	85	85	80	85	75	83
Среднее*	89	89	82	89	79	87
Отмечают жалобы на здоровье чаще, чем раз в неделю, %						
Россия	33	27	39	23	45	29
Среднее*	31	24	41	25	50	27

* Среднее значение по всем странам HBSC. URL: http://www.hbsc.org/membership/countries/index.html (дата обращения: 26.07.2020).

Из данных табл. 1 следует, что мальчиков подросткового возраста с избыточной массой тела больше, чем девочек, как в России, так и в целом по странам HBSC. Показатели самооценки здоровья у девочек выше. Девочки-подростки более критично относятся к вопросу удовлетворенности жизнью.

Показатели здоровья отражают влияние тех или иных элементов в организме на функциональность (заболеваемость) систем организма. Сравнительные данные (средние значения) о содержании элементов в волосах дошкольников и школьников, проживающих в г. Апатиты, представлены в табл. 2.

У обследованных детей г. Апатиты отмечено снижение с возрастом содержания алюминия, кадмия, хрома, железа, молибдена, натрия, никеля, свинца, рубидия, олова, кремния, сурьмы, ванадия, калия, фосфора, кальция, кобальта и увеличение содержания серебра, меди, магния, селена, титана, цинка. В волосах дошкольников г. Апатиты обнаружено повышенное содержание свинца и стронция.

Таблица 2

Средние показатели элементного состава образцов волос у детей г. Апатиты, мкг/г

Элементы	Дошкольники	Школьники	δ1	δ2	*P*
Ag	1,59	2,49	2,62	7,25	$p < 0{,}001$
Al	33,18	17,10	13,11	13,44	$p < 0{,}001$
As	0,16	0,10	0,19	0,09	$p < 0{,}10$
B	3,12	3,26	0,56	0,78	$p > 0{,}10$
Ba	2,03	2,33	1,13	1,36	$p > 0{,}10$
Be	0,00	0,00	0,00	0,00	–
Cd	0,21	0,17	0,12	0,19	$p < 0{,}025$
Cr	1,84	1,66	0,37	0,33	$p < 0{,}005$
Cs	0,00	0,00	0,00	0,00	–
Cu	13,77	13,85	3,74	16,46	$p < 0{,}005$
Fe	42,70	24,50	9,37	11,92	$p < 0{,}001$
Ge	0,16	0,14	0,09	0,07	$p > 0{,}10$
Hg	0,29	0,19	0,38	0,20	$p < 0{,}10$
I	0,61	0,15	1,25	0,24	$p < 0{,}10$
Li	0,01	0,00	0,04	0,01	$p > 0{,}10$
Mg	71,39	86,09	100,86	50,86	$p <0{,}001$
Mn	1,04	0,68	0,49	0,38	$p < 0{,}001$
Mo	0,31	0,12	0,13	0,05	$p < 0{,}001$
Na	1818,09	1007,04	1243,93	563,90	$p < 0{,}05$
Ni	1,56	0,78	0,51	0,55	$p < 0{,}001$
Pb	6,02	1,94	5,53	1,94	$p < 0{,}005$
Rb	1,09	0,33	0,59	0,38	$p < 0{,}001$
Sn	3,72	0,93	2,76	0,74	$p <0{,}001$
Se	1,31	2,54	0,30	6,63	$p <0{,}01$
Si	758,67	652,14	123,66	22,94	$p < 0{,}001$
Sb	0,19	0,05	0,16	0,05	$p < 0{,}001$
Sr	4,05	4,75	5,95	5,60	$p > 0{,}10$
Ti	6,64	7,06	3,87	16,22	$p < 0{,}05$
Tl	0,00	0,00	0,00	0,00	–
V	0,17	0,08	0,08	0,04	$p < 0{,}001$
Zn	97,35	193,89	48,22	70,64	$p < 0{,}001$
K	2034,07	678,35	1264,32	404,35	$p < 0{,}001$
P	186,47	179,11	23,44	20,39	$p < 0{,}001$
Ca	792,31	782,24	960,77	439,26	$p < 0{,}001$
Co	0,07	0,04	0,03	0,03	$p < 0{,}001$

Сравнительные данные о содержании элементов в волосах дошкольников и школьников с. Ловозеро представлены в табл. 3.

Таблица 3

Средние показатели элементного состава образцов волос у детей с. Ловозеро, мкг/г

Элементы	Дошкольники	Школьники	δ1	δ2	*P*
Ag	0,64	1,61	0,76	3,01	$p > 0,10$
Al	31,59	26,05	13,39	18,55	$p < 0,10$
As	0,10	0,11	0,02	0,05	$p > 0,10$
B	3,57	2,87	2,57	0,63	$p < 0,025$
Ba	0,84	1,76	0,48	1,28	$p < 0,005$
Be	0,00	0,00	0,00	0,00	–
Cd	0,24	0,10	0,17	0,10	$p < 0,001$
Cr	1,53	1,50	0,61	0,25	$p < 0,025$
Cs	0,00	0,00	0,00	0,00	–
Cu	9,24	8,68	2,03	1,89	$p > 0,10$
Fe	39,68	27,54	10,32	11,29	$p < 0,001$
Ge	0,43	0,24	0,12	0,14	$p < 0,001$
Hg	0,35	0,54	0,25	0,69	$p > 0,10$
I	0,13	0,11	0,13	0,11	$p > 0,10$
Li	0,00	0,00	0,00	0,01	$p > 0,10$
Mg	28,64	126,47	5,45	96,72	$p < 0,001$
Mn	0,91	1,30	0,41	1,61	$p > 0,10$
Mo	0,14	0,07	0,05	0,01	$p < 0,001$
Na	1954,05	967,41	1485,12	737,17	$p < 0,01$
Ni	1,75	1,36	1,03	0,71	$p < 0,10$
Pb	3,76	1,56	2,74	1,63	$p < 0,025$
Rb	1,22	0,68	0,85	0,65	$p < 0,10$
Sn	1,72	1,24	1,00	1,41	$p < 0,025$
Se	0,69	0,65	0,21	0,25	$p > 0,10$
Si	547,72	528,50	24,03	45,02	$p < 0,025$
Sb	0,17	0,08	0,08	0,07	$p < 0,001$
Sr	0,86	5,15	1,00	6,28	$p < 0,001$
Ti	3,72	5,92	3,13	7,87	$p > 0,10$
Tl	0,00	0,00	0,00	0,00	–
V	0,20	0,09	0,08	0,04	$p < 0,001$
Zn	66,22	145,98	38,78	37,88	$p < 0,001$
K	2049,31	1134,44	1742,98	846,80	$p < 0,10$
P	165,31	164,20	22,72	28,31	$p > 0,10$
Ca	444,40	975,22	131,87	797,54	$p < 0,001$
Co	0,06	0,10	0,09	0,31	$p < 0,05$

У обследуемых детей из с. Ловозеро с возрастом наблюдается снижение таких элементов, как алюминий, бор, кадмий, хром, медь, железо, германий, йод, молибден, натрий, никель, свинец, рубидий, олово, селен, кремний, сурьма, ванадий, калий, фосфор. Происходит также накопление серебра, мышьяка, бария, ртути, магния, марганца, стронция, титана, цинка, кальция и кобальта.

Общей особенностью состава элементов в биологических пробах волос школьников и дошкольников с. Ловозеро и г. Апатиты является превышение содержания серебра, магния, титана и цинка относительно референтных значений. Изменения, представленные в табл. 2 и 3, могут быть связаны с интенсивным ростом организма в подростковый период, с особенностями питания и жизнедеятельностью индивидуума.

Возможны следующие причины нарушения минерального обмена:

- вредные пищевые привычки; употребление переработанной пищи, консервантов, вредных жиров, сахара; следование диетическим «модам» и неправильному режиму похудения;
- стресс — вызывает выведение из организма полезных веществ и слабое их усвоение;
- лекарственные препараты — видоизменяют полезные вещества, входящие в реакцию с пищевыми составляющими, образуют новые связи вследствие реакций между собой, внедряют токсичные металлы;
- плохое состояние кишечника — недостаточное всасывание, недостаток полезной микробиоты;
- загрязненная среда — вода, почва, воздух [Fritz et al., 2017];
- наследственность — склонность к накоплению или недостатку тяжелых металлов и других поллютантов [Mason, 2007].

Выявленное повышение функциональной нагрузки, которую испытывает элементная система организма детей и подростков в условиях комплексного воздействия факторов окружающей среды, в конечном итоге может привести к постепенному развитию патологических состояний.

Заключение

Исследования показали, что элементный состав волос детей, проживающих в разных районах Мурманской обл., существенно различается, как и содержание элементов в группах дошкольников и школьников, проживающих в одном населенном пункте.

Частные вариации касаются содержания разных элементов в образцах волос детей в сравниваемых группах, в то же время в волосах дошкольников г. Апатиты в целом отмечено повышенное содержание свинца, а в волосах школьников — 6-кратное превышение содержания стронция по сравнению с дошкольниками с. Ловозеро. Выявлено накопление с возрастом серебра, магния, титана и цинка. Впоследствии накопленные дозы этих элементов могут вызывать изменения в иммунной системе и способствовать развитию хронических патологических состояний.

Существуют различные методы коррекции нарушений минерального обмена. К ним можно отнести употребление минеральной воды определенного состава, специальные диеты, использование пищевых добавок, содержащих сорбенты или минералы, лекарственные препараты и витаминно-минеральные комплексы [Микроэлементозы..., 1991; Попова и др., 1999; Environmental..., 2013].

При всем многообразии работ в этом направлении недостаточно внимания уделялось оценке воздействия предложенных схем на минеральный состав организма в целом. Например, сорбенты могут способствовать выведению не только токсичных металлов, но и жизненно важных биоэлементов. Такая опасность для жителей Севера представляется вполне реальной с учетом особенностей их минерального обмена.

Все вышеизложенное обосновывает необходимость углубленного изучения содержания макро- и микроэлементов в организме человека, разработки методов коррекции выявленных нарушений с учетом геохимических особенностей региона и техногенного загрязнения окружающей среды.

Снижение заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, зависит не только от решения медицинских, социальных проблем, но и является одной из приоритетных государственных задач, так как касается сохранения и укрепления здоровья нации.

Изучение роли минерального состава организма человека — актуальная задача для медицины, а новые научные исследования, уточняющие место макро- и микроэлементов в этиологии, патогенезе и течении многих заболеваний, перспективны в поиске путей эффективного выявления, профилактики и лечения нарушений минерального обмена.

Литература

Агаджанян Н. А. Скальный А. В. Химические элементы в среде обитания и экологический портрет человека. М.: КМК, 2001. 83 с.

Бабенко Г. А. Микроэлементозы человека: патогенез, профилактика, лечение // Микроэлементозы в медицине. 2001. № 2 (1). С. 2–5.

Власова Т. К., Хофгаард А. Перспективы конструирования циркумполярной системы социально ориентированного мониторинга Севера на базе результатов проектов Международного полярного года “PPSArctic” и ИАСОС // Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России. Сер. «Вклад России в Международный полярный год 2007/2008»: в 6 т. Т. 6. М., 2011. С. 75–101.

Влияние климатопроизводственных факторов на заболеваемость вахтовых работников нефтедобывающей отрасли в условиях Заполярья / В. Д. Алексеенко [и др.] // Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России. М., 2011. С. 109–126. (Вклад России в Международный полярный год 2007/08: в 6 т. Т. 6).

Дегтева Г. Н., Дмитриев В. Г., Сидоров П. И. Введение: о работах по направлению проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России // Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России. М., 2011. С. 3–8. (Вклад России в Международный полярный год 2007/08: в 6 т. Т. 6).

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2018 году / Мин-во природных ресурсов Мурманской обл. Мурманск, 2019. 185 с. URL: https://gov-murman.ru/region/en_vironmentstate/ (дата обращения: 26.07.2020).

Лемешева С. А., Голованова О. А. О соотношении кальция и фосфора при патогенном минералообразовании в организме человека // Минералогия техногенеза. Миасс: УрО РАН, 2006. Т. 7. С. 146–151.

Методические указания / Федер. центр Госсанэпиднадзора Минздрава РФ. М., 2003. С. 56.

Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А. П. Авцын [и др.]. М.: Медицина, 1991. 496 с.

Обмен веществ у детей / Ю. Е. Вельтищев [и др.]. М.: Медицина, 1983. 464 с.

Попова В. А., Прядко Л. И., Кожин А. А. Тиреоидная патология у населения, проживающего в районах с высокой техногенной нагрузкой // Медицина труда и промышленная экология. 1999. № 10. С. 4–8.

Ревич Б. А., Шелепчиков А. А. Здоровье населения и загрязнение окружающей среды стойкими органическими загрязнителями // Гигиена и санитария. 2008. № 4. С. 27–32.

Сидоров П. И., Дегтева Г. Н., Зубов Л. А. Стратегии полярной медицины // Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России М., 2011. С. 452–467. (Вклад России в Международный полярный год 2007/08: в 6 т. Т. 6).

Сидоров П. И., Дегтева Г. Н. Системный мониторинг: его значимость для качества жизни человека // Циркумполярная медицина: влияние факторов окружающей среды на формирование здоровья человека: материалы междунар. науч.-практ. конф. 2011. С. 271–276.

Сидоров П. И. Проблемы здравоохранения и социального развития арктической зоны России. М., 2011. С. 472. (Вклад России в Международный полярный год 2007/08: в 6 т. Т. 6).

Скальный А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: ОНИКС 21-й век, 2004. 216 с.

Эпидемиологическое исследование физического и полового статуса мальчиков в Чапаевске, городе с высоким уровнем диоксинового загрязнения / Б. А. Ревич [и др.] // Профилактика нарушений репродуктивного здоровья от профессиональных и экологических факторов риска: материалы междунар. конгр. Волгоград, 2004. С. 37–40.

Ягья Н. С., Петров П. А., Ягья В. С. Человек и охрана его здоровья на Севере. Л.: Медицина, Ленингр. отд-ние, 1984. 216 с.

Cahill A. L., Nyberg D., Ehret Ch. F. Tissue distribution of cadmium and metallothionein as a function of time of day and dosage // Environm. Res. 1983. Vol. 31. No. 1. P. 54–65.

Cikrt M., Bencko V. Biological monitoring of human exposure to metals // J. Hyg Epidemiol Microbiol. Immunol. 1990. No. 34 (3). P. 233–241.

Continuous impact of mining activities on soil heavy metals levels and human health / G. Tepanosyan [et al.] // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 639. P. 900–909. URL: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv. 2018.05.211 (accessed 26.07.2020).

Elemental Analysis of Biological Materials Current Problems and Techniques with Special Reference to Trace Elements. Vienna: IAEA, 1980. No. 197. P. 351–367.

Environmental exposure as an independent risk factor of chronic bronchitis in Northwest Russia / P. Nieminen [et al.] // Intern. J. Circumpolar Health. 2013. Vol. 72. No. 1. P. 1–7.

High concentrations of lead and barium in hair of the rural population caused by water pollution in the Thar Jath oilfields in South Sudan / F. Pragst [et al.] // Forensic Sci. Intern. 2017. Vol. 274. P. 99–106.

Mason J. B. Vitamins, trace minerals, and other micronutrients // Textbook of Medicine / L. Goldman, D. Ausiello. 2007. 225 p.

Nielsen F. H. The ultra trace elements // Trace Minerals in Foods / Ed. K. T. Smith. N. Y.: Marcel Dekker, 1988. P. 357–428.

World Health Organization. 2016. URL: http://www.euro.who.int/en/2016/hbsc-study (accessed 26.07.2020).

Сведения об авторе

Терещенко Павел Сергеевич
кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, e-mail: tereshchenko_pash@mail.ru

Pavel S. Tereshchenko
PhD (Medical), Senior Researcher Research Centre for Human Adaptation in the Arctic of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», Apatity; e-mail: tereshchenko_pash@mail.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.011
УДК 556.565:556.561

С. Б. Селянина[1], В. Г. Татаринцева[1], И. Н. Зубов[1], Н. А. Кутакова[2], И. В. Русских[3]
[1]*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им.академика Н. П. Лавёрова Российской академии наук*
[2]*Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова*
[3]*Институт химии нефти Сибирского отделения РАН*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЭКСТРАКЦИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ВЕРХОВОГО ТОРФА

Аннотация

Проведена оценка влияния ультразвукового (УЗ) и сверхвысокочастотного (СВЧ) излучений на процесс экстракции биологически активных веществ (БАВ) из верхового торфа методом настаивания с этанолом. Установлено, что дополнительное применение УЗ- и СВЧ-полей в ходе экстракции позволяет ускорить процесс экстрагирования БАВ в 12 и 140 раз соответственно при сохранении выхода. При этом воздействие ультразвукового и микроволнового полей приводит к перераспределению содержания групп компонентов (циклических и ациклических) и отдельных соединений в растворе. Методом хромато-масс-спектрометрии установлены доминирующие группы извлекаемых компонентов, среди которых пентациклические тритерпеноиды (до 65 %), стероиды (до 19 %), н-алканы (до 15 %).

Ключевые слова:
верховой торф, биологически активные вещества, экстракция, этанол, УЗ-поле, СВЧ-поле, групповой и компонентный состав экстрактов.

Svetlana B. Selyanina[1], Valeria G. Tatarintseva[1], Ivan N. Zubov[1], Natalia A. Kutakova[2], Irina V. Russkih[3]
[1]*N. P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of Russian Academy of Sciences*
[2]*M. V. Lomonosov Northern Arctic Federal University*
[3]*Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*

OPTIMISATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES EXTRACTION FROM HIGH PEAT

Abstract

In this paper, the influence of microwave and ultrasonic fields on the extraction of peat by alcohol digestion with ethanol was evaluated. It was established that additional treatment of the material during extraction allows accelerating the extraction process by 12 and 140 times,respectively while maintaining the yield. The dominant components

containing pentacyclictriterpenoids (up to 65 %), steroids (up to 19 %), n-alkanes (up to 15 %) and others were identified using chromatography-mass spectrometry method. It was revealed that the influence of microwave and ultrasonic fields leads to redistribution of the content of individual groups of components and individual compounds in solution.
Keywords:
high-moor peat, biologically active substances, extraction, ethanol, ultrasonic field, microwave field, group and component composition of extracts.

Введение

Торф — возобновляемое природное сырье, содержащее широкий спектр биологически активных соединений [Томсон, Наумова, 2009]. Особый интерес представляет битумная часть торфа — смесь низкомолекулярных веществ, извлекаемых органическими растворителями. Известно, что эти соединения способны проявлять антиоксидантную и антимикробную активность [Биологически..., 2016]. С учетом этого факта и широкого распространения запасов торфа на территории России в ряде регионов может быть актуальна его промышленная переработка с получением ценных биологически активных веществ (БАВ). Одним из основных способов переработки природного сырья с получением таких продуктов, как воски, витамины, углеводы и др., является экстракция растворителями различного типа.

В технологии получения БАВ из растительного сырья широко применяется этиловый спирт — ввиду его малой токсичности, возможности регенерации и высокой извлекающей способности в отношении водо- и жирорастворимых веществ [Нарчуганов и др., 2010]. Наиболее распространенным и простым в исполнении методом экстракции является настаивание. Метод имеет существенный недостаток — длительное (до нескольких суток) экстрагирование, не всегда обеспечивающее достаточно полное извлечение экстрактивных веществ (ЭВ). Поэтому все большее распространение получают методы, позволяющие интенсифицировать процесс экстракции с получением наибольшего выхода активных компонентов с наименьшими затратами [Методы..., 2005]. Такими методами являются ультразвуковая (УЗ) экстракция и экстракция с применением микроволнового излучения (СВЧ). В фармацевтической промышленности ультразвук широко применяется, однако его влияние на БАВ неоднозначно: одни вещества под его воздействием теряют свои свойства, другие — остаются нейтральными, третьи — становятся более активными [Традиционные..., 2011].

В настоящее время большая часть отечественных публикаций о применении ультразвука при переработке торфа посвящена выделению гуминовых веществ и изменению их свойств под действием УЗ-поля [Москаленко и др., 2010] и диспергированию торфа с последующим исследованием его физико-химических показателей [Влияние ультразвуковой…, 2015]. Выделение торфяных битумов таким методом не проводилось. Метод выделения ЭВ из растительного сырья с использованием микроволнового излучения также считается перспективным. Быстрое извлечение и сокращение энергозатрат — несомненные преимущества этого метода [Традиционные..., 2011], однако влияние СВЧ-поля на выделяемые компоненты мало изучено.

Таким образом, цель исследования состояла в сравнительной оценке эффективности УЗ- и СВЧ-экстракции торфа этиловым спиртом и традиционного метода настаивания, а также в изучении влияния методов интенсификации процесса на состав извлекаемых битумов.

Материалы и методы

Отбор натурного материала проводили на территории Иласского болотного массива (Приморский район Архангельской обл.). В качестве объекта исследования использовали интегральный образец верхового торфа мохового типа, однородный по глубине залегания. Степень разложения торфа диагностировали ситовым методом (ГОСТ 10650-2013), для исследуемого образца она составила 10–15 %. Компонентный состав торфа определяли согласно методикам [ГОСТ 11305-83; ГОСТ 11306-83; Методика..., 2017].

Пробы воздушно-сухой фракции торфа (1–2 мм) экстрагировали методом настаивания в трех режимах: без дополнительного воздействия, с ультразвуковой и микроволновой обработками. Экстракцию методом настаивания без обработки проводили в течение 24 часов с постоянным перемешиванием при температуре +30 °С на лабораторном шейкере (исчерпывающая экстракция).

При ультразвуковой экстракции колбы с сырьем и растворителем помещали в УЗ-установку, заполненную водой (рис. 1 *а*). Экстракцию проводили в течение 2 часов при периодическом воздействии ультразвука — 4 раза по 15 минут с перерывами в 15 минут. Для экстракции в СВЧ-поле использовали СВЧ-установку мощностью 110 Вт, оборудованную перемешивающим устройством и обратным холодильником (рис. 1 *б*). Продолжительность процесса составляла 10 минут.

а *б*

Рис. 1. Экстракционные установки в УЗ- (*а*) и СВЧ- (*б*) полях

Выход ЭВ рассчитывали по концентрации сухих веществ в экстрактах. Полученные методом настаивания результаты принимали за 100 % (абсолютный выход). Экстракцию проводили в трех повторностях, определение выхода ЭВ —

в трех параллельных опытах для каждого выделенного раствора. За результат приняты средние значения, максимальное среднеквадратичное отклонение не превышало 0,7. Групповой и компонентный состав экстрактов торфа исследовали методом газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) с использованием магнитного хромато-масс-спектрометра DFS Thermo Scientific [Состав..., 2014].

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных данных по выходу экстрактивных веществ торфа представлены в таблице.

Эффективность методов экстракции

Метод	Время экстракции, ч	Выход, % от а.с.м.	Степень извлечения, %
Настаивание	24	5,4±0,7	100,0
УЗ	2	5,3±0,3	98,1
СВЧ	0,17	5,8±0,4	107,4

Экстракция этиловым спиртом в мягких условиях позволила извлечь в среднем до 5,4 % ЭВ из верхового торфа низкой степени разложения, что обусловлено высокой полярностью этанола. Проведение дополнительной обработки в заданных условиях практически не повлияло на выход битумов, численные значения которого составляли 5,3 и 5,8 % для УЗ и СВЧ соответственно. Важно отметить, что периодическое воздействие УЗ-поля сокращало время экстракции в 12 раз (практически без снижения выхода), а обработка СВЧ-полем позволяла достичь превышения выхода при сокращении времени экстракции более чем в 140 раз.

Интенсификация процесса извлечения веществ при ультразвуковой обработке объясняется тем, что под действием ультразвука изменяются геометрические размеры просветов (пор, каналов и т. д.) в субстрате. Ввиду этого связи в межклеточных соединительных тканях становятся слабее и происходит частичный разрыв клеточных стенок за счет эффекта кавитации, что облегчает и ускоряет выход БАВ в экстракт [Исследование..., 2020]. В результате микроволнового воздействия также происходит разрушение клеточных стенок, но за счет эффекта парообразования и расширения воздуха в клеточных структурах [Коптелова и др., 2013]. Увеличение выхода битумов при использовании СВЧ-метода по сравнению с методом настаивания, который обеспечивает полное извлечение экстрактивных веществ, можно объяснить выделением в экстракт, помимо битумов, также и гуминовых веществ [Влияние растворителя…, 2019]. Важно то, что даже кратковременное воздействие УЗ- и СВЧ-полями приводит к нагреву образца и может вызвать изменения в групповом и индивидуальном составе экстрактов, в первую очередь за счет деструкции и трансформации легколетучих соединений растительных клеток.

По итогам анализа качественного состава полученных экстрактов установлено, что последние содержат широкий спектр органических соединений: пентациклические тритерпеноиды (ПЦТ), стероиды, н-алканы, н-алкан-2-оны, β-дикетон, кислоты различного строения и состава, дитерпеноиды, токоферолы, н-альдегиды, сесквитерпеноиды, сквален и фитон.

Основу исследуемых экстрактов составляют ПЦТ, содержание которых варьирует от 49,7 до 64,9 % (рис. 2). Эти соединения присутствуют во многих растениях и обладают выраженной биологической активностью, что обусловливает их широкое применение в медицине [Singh, Sharma, 2015].

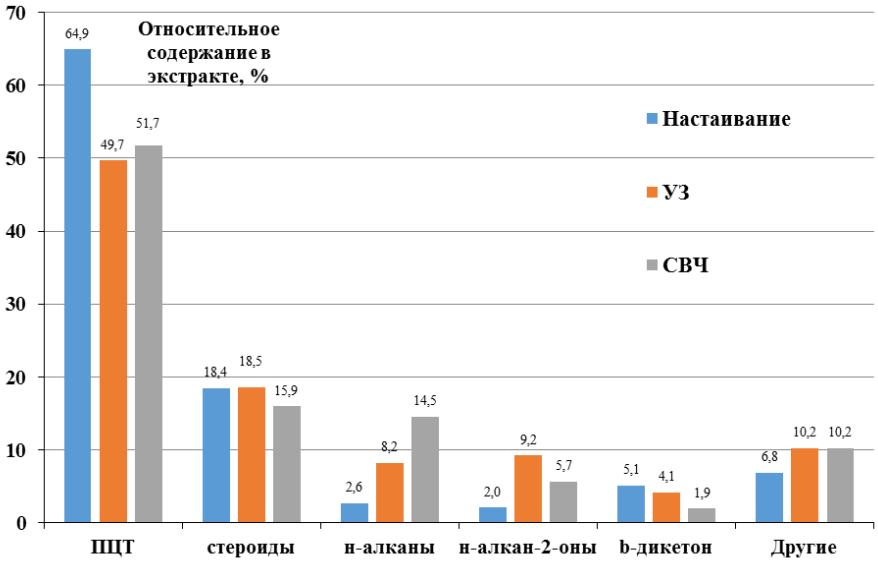


Рис. 2. Качественный и количественный состав экстрактов торфа

Согласно полученным данным, дополнительная обработка УЗ- и СВЧ-полями приводит к существенному снижению содержания ПЦТ в выделенных экстрактах с 65 до 50 %. Данный факт может быть обусловлен частичной деструкцией этих соединений, что подтверждается исследованиями [Влияние ультразвука…, 2008; Интенсификация…, 2019], при этом количество идентифицированных соединений фракции ПЦТ не претерпевает изменений и для всех экстрактов составляет 24 компонента.

На рис. 3 представлены данные по относительному содержанию основных соединений ПЦТ из экстрактов торфа.

Среди ПЦТ, независимо от метода экстракции, преобладал тараксерен. Доля этого компонента в экстрактах, выделенных классическим методом настаивания и настаиванием с УЗ-обработкой, достигала 34,2 и 35,9 % соответственно. При СВЧ-воздействии происходило значительное снижение его содержания в экстракте, в том числе за счет извлечения большего количества неогоп-13(18)-ена и олеан-12-ена.

Второй по содержанию в выделенных экстрактах группой веществ были стероиды (рис. 2). Их содержание достигало 18,5 %. Интенсификация экстракции ультразвуком не влияла на извлечение этой группы веществ, а СВЧ-поле приводило к снижению их относительного содержания в растворе, при этом количество и состав идентифицированных соединений не претерпевали изменений. Всего в экстрактах идентифицировано 10 соединений, основную долю которых составляли ситостерол и производные стигмастана: стигмастан-3-он, стигмаст-3,5-диен-7-он, стигмаст-4-ен-3-он и некоторые другие (рис. 4, 5).

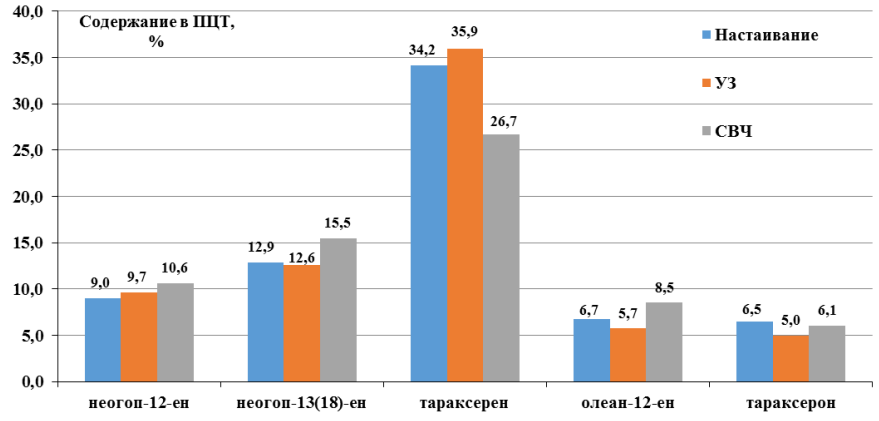


Рис. 3. Количественное распределение пентациклических тритерпеноидов в спиртовых экстрактах торфа

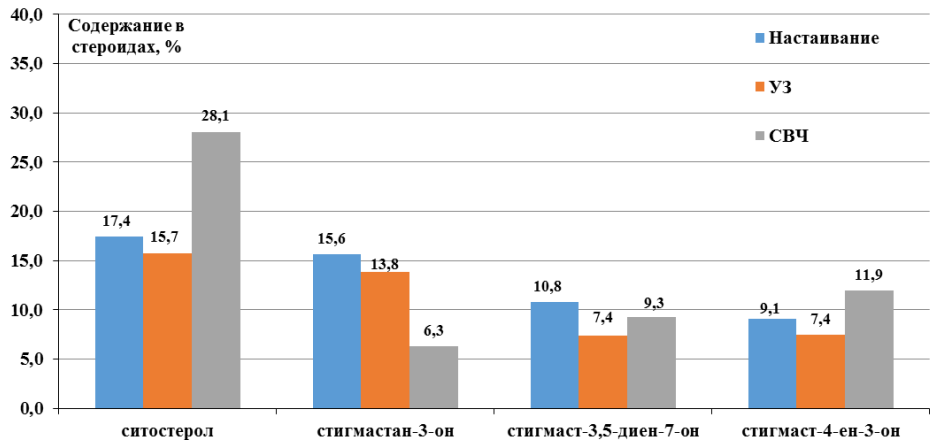


Рис. 4. Количественное распределение стероидов в спиртовых экстрактах торфа

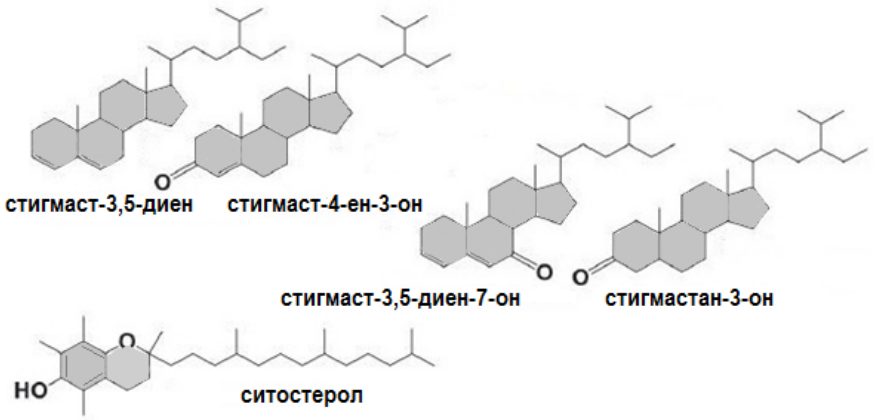


Рис. 5. Стероиды экстрактов торфа

СВЧ-экстракт оказался наиболее обогащенным таким ценным компонентом, как ситостерол, его доля достигала 28,1 % от суммы стероидов, что почти вдвое выше по сравнению с классическим методом настаивания и УЗ-экстракцией.

Одновременно СВЧ-экстракт был обогащен н-алканами (рис. 2), содержание которых (14,5 %) примерно в 2 и 6 раз превышало таковое в экстрактах, полученных УЗ- и классическим методами. Во всех экстрактах преобладали соединения с нечетным количеством атомов углерода: С27, С29, С31 и С33. Содержание н-алкан-2-онов достигало 9,2 %, этот максимум был характерен для УЗ-экстракта, минимум (2,0 %) — для классического метода настаивания. Доля β-дикетона, напротив, снизилась при дополнительном воздействии на материал в ходе экстракции.

Выводы

В результате проведенных исследований выявлено, что методы экстракции с применением УЗ- и СВЧ-полей дают возможность существенно сократить продолжительность процесса (в 12 и более чем в 140 раз соответственно) при сопоставимых выходах ЭВ. Кроме того, происходит перераспределение содержания отдельных компонентов в растворе. Так, при классическом методе настаивания извлекается большее количество циклических соединений (ПЦТ) за счет снижения содержания ациклических соединений (н-алканы, н-алкан-2-оны), в то время как УЗ- и СВЧ-обработки способствуют увеличению доли последних в извлекаемых экстрактах. Исходя из того, что УЗ- и СВЧ-поля способны влиять на структуру биологически активных соединений [Влияние ультразвука…, 2008; Интенсификация…, 2019], выявленное перераспределение компонентов может быть обусловлено преобразованием циклических структур, большая часть из которых и обладает биологической активностью (антиоксидантной, микробиологической и др.).

Можно предположить, что использование различных режимов экстракции позволит регулировать селективность процесса и получать обогащенные отдельными группами соединений экстракты.

Исследование выполнено при поддержке проекта РФФИ № 18-05-70087 «Разработка инновационных основ использования торфяных ресурсов Арктической зоны Российской Федерации».

Литература

ГОСТ 10650-2013. Торф. Методы определения степени разложения. Введ. 2015-01-01. М.: Стандартинформ, 2014. 13 с.

ГОСТ 11305-83. Торф. Методы определения влаги. Введ. 1984-01-01. Изд-во стандартов. М.: Изд-во стандартов, 1983. 9 с.

ГОСТ 11306-83. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. Введ. 1985-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 7 с.

Биологически активные экстракты верхового торфа Европейского Севера России */ С. Б. Селянина [и др.]* // Вестник РФФИ. 2016. № 1. С. 33–39.

Влияние растворителя на выход и состав торфяных битумов / С. Б. Селянина [и др.] // Успехи современного естествознания. 2019. № 5. С. 83–88.

Влияние ультразвука при экстракции антиоксидантов из листьев толокнянки / Н. Ю. Грибова [и др.] // Хим.-фармацевт. журн. 2008. Т. 42. № 10. С. 43–45.

Влияние ультразвуковой кавитационной диспергации на фракционный состав и сорбционные свойства торфа по отношению к ионам Cu (II) / Е. Ф. Лозинская [и др.] // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 209–217.

Интенсификация процесса водной экстракции плодов шиповника коричного в условиях ультразвукового и СВЧ-воздействия / Е. В. Аверьянова [и др.]. // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (Бийск, 14–15 ноября 2019 г.). 2019. С. 281–286. URL: http://u-sonic.ru/upload/iblock/0e6/0e6ec17a136a1f56c6bd3de24d2e0519.pdf (дата обращения: 26.07.2020).

Исследование процесса извлечения экстрактивных веществ из растительного сырья / Э. Ш. Халитова [и др.]. URL: http://elib.osu.ru/bitstream/123456789/864/1/1021-1025.pdf (дата обращения: 26.07.2020).

Коптелова Е. Н., Кутакова Н. А., Третьяков С. И. Извлечение экстрактивных веществ и бетулина из бересты при воздействии СВЧ-поля // Химия растительного сырья. 2013. № 4. С. 159–164.

Леонова М. В., Климочкин Ю. Н. Экстракционные методы изготовления лекарственных средств из растительного сырья: учеб.-метод. пособие. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. 111 с.

Методика измерений группового химического состава торфа гравиметрическим методом № 88-16365-009-2017 / С. Б. Селянина [и др.]. Свидетельство об аттестации от 06.12.2017. № госрегистрации ФР.1.31.2018.29621.

Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья / Г. В. Жматова [и др.] // Вестник ТГТУ. 2005. Т. 11. № 3. С. 701–707.

Москаленко Т. В., Михеев В. А., Данилов О. С. Воздействие ультразвуковым полем на торф при экстрагировании гуминовых кислот // Горн. информ.-аналит. бюлл. (науч.-техн. журн.). 2010. № 3. С. 209–213.

Нарчуганов А. Н., Ефремов А. А., Оффан К. Б. Экстрактивные вещества лапки хвойных Эвенкии, извлекаемые при спиртовой обработке с использованием ультразвука // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 105–108.

Состав экстрактивных веществ торфов осушенных и ненарушенных верховых болот Беларуси и Западной Сибири / О. В. Серебренникова [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Химия и химические технологии. 2014. Т. 235. № 3. С. 31–45.

Томсон А. Э., Наумова. Г. В. Торф и продукты его переработки. Минск: Бел. наука, 2009. 280 с.

Традиционные и современные методы экстракции биологически активных веществ из растительного сырья: перспективы, достоинства, недостатки / А. С. Коничев [и др.] // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». 2011. № 3. С. 49–54.

Pentacyclic Triterpenes with Selective Bioactivity from *Sebastiania adenophora* Leaves, Euphorbiaceae / M. L. Macías-Rubalcava [et al.] // J. Chemical Ecology. 2007. Vol. 33, Issue 1. P. 147–156.

Bharat S., Sharma R. A. Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications // Biotech. 2015. Vol. 5. Is. 2. P. 129–151.

Сведения об авторах

Селянина Светлана Борисовна
кандидат технических наук, зав. лабораторией, ведущий научный сотрудник лаборатории болотных экосистем Института экологических проблем Севера ФИЦКИА РАН, Архангельск; e-mail: gumin@fciarctic.ru

Татаринцева Валерия Геннадьевна
младший научный сотрудник лаборатории болотных экосистем
Института экологических проблем Севера ФИЦКИА РАН, Архангельск;
e-mail:leratatarintseva@gmail.com
Зубов Иван Николаевич
кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории болотных
экосистем Института экологических проблем Севера ФИЦКИА РАН, Архангельск;
e-mail: zubov.ivan@bk.ru
Кутакова Наталья Алексеевна
кандидат технических наук, доцент кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических
производств Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического)
федерального университета им. М. В. Ломоносова, Архангельск; e-mail: n.kutakova@narfu.ru
Русских Ирина Владимировна
кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории природных
превращений нефти Института химии нефти Сибирского отделения РАН, Томск;
e-mail: lady.riv1963@yandex.ru

Svetlana B. Selyanina
PhD (Engineering), Head and Senior Scientific researcher of the Wetland Ecosystems
Laboratory of Institute of the Ecological Problems of the North FCI Arctic RAS, Arkhangelsk;
e-mail: smssb@yandex.ru
Valeria G. Tatarintseva
Junior Researcher of the Wetland Ecosystems Laboratory of Institute of the Ecological
Problems of the North FCI Arctic RAS, Arkhangelsk; e-mail: leratatarintseva@gmail.com
Ivan N. Zubov
PhD (Chemistry), Senior Researcher of Wetland Ecosystems Laboratory of the North
FCI Arctic RAS, Arkhangelsk; e-mail: zubov.ivan@bk.ru
Natalia A. Kutakova
PhD (Engineering), Assistant Professor of faculty of Pulp, Paper and Wood Chemical Industry
of High School of Natural Sciences and Technology of M. V. Lomonosov Northern Arctic
Federal University, Arkhangelsk; e-mail: n.kutakova@narfu.ru
Irina V. Russkih
PhD (Chemistry), Senior Researcher of Laboratory of Natural Transformations of Oil
of Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy
of Sciences, Tomsk; e-mail: lady.riv1963@yandex.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.012
УДК 661.882:668.816

Л. Г. Герасимова, М. В. Маслова, Е. С. Щукина
*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья
им. И. В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»*

ПОВЫШЕНИЕ КОМПЛЕКСНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ХИБИНСКИХ АПАТИТОНЕФЕЛИНОВЫХ РУД

Аннотация

Практический интерес из неиспользуемых минералов апатитонефелиновых руд представляет титанит — титаносиликат кальция ($CaTiSiO_5$). Металлический титан и его соединения имеют различное применение в отраслях промышленности, производящих продукцию двойного назначения. Приведены результаты исследований

вариантов переработки титанита с получением продуктов, востребованных на современном рынке неорганических материалов и необходимых для решения проблем импортозамещения.
Ключевые слова:
титанит, диоксид титана, клей, герметик, сорбент, иванюкит.

Lidia G. Gerasimova, Marina V. Maslova, Ekaterina S. Shchukina
Tananaev Institute of Chemistry of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences"

IMPROVING COMPLEX PROCESSING OF KHIBINY APATITE-NEPHELINE ORE

Abstract
The practical interest from the unused minerals of apatite-nepheline ores is titanite — calcium titanosilicate ($CaTiSiO_5$), which includes titanium. Metallic titanium and its compounds are highly diverse applications in the industries producing dual-use products. The results of studies on the options for the processing of titanite with the production of inorganic materials demanded on the market that are necessary for solving the problems of import substitution are presented.
***Keywords*:**
titanite, titanium dioxide, glue, sealant, sorbent, ivaniukit.

Введение

Месторождения комплексных апатитонефелиновых руд (АНР) в Хибинах — уникальное природное явление с большим разнообразием их залегания и состава. Эти месторождения являются крупнейшими не только в России, но и в мире. В руде отмечается пять основных породообразующих минералов: апатит, нефелин, сфен (титанит), эгирин и титаномагнетит (табл. 1). При современных способах переработки АНР ставится задача более полного извлечения апатита и, частично, нефелина. Остальные минералы практически не выделяются из-за их невостребованности и направляются в хвостохранилище.

Таблица 1

Перечень основных минералов в составе апатитонефелиновых руд

Минерал	Содержание минерала в руде, мас. %	Формула
Апатит	33,7–35,0	$Ca_5(PO_4)_3F$
Нефелин	40,6–42,2	$(NaK)_2OAI_2O_3 \cdot 2SiO_2$
Эгирин	8,7–9,5	$NaFeSiO_6$
Сфен	2,4–2,9	$CaSiTiO_5$
Титаномагнетит	1,1–1,2	$FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot TiO_2$

Среди неиспользуемых минералов практический интерес представляет титанит — титаносиликат кальция ($CaTiSiO_5$). Металлический титан и его соединения имеют различное применение в отраслях промышленности, производящих продукцию двойного назначения.

Вопросы химической переработки сфенового концентрата освещены в ряде публикаций [Ларичкин и др., 2012; Инновационные..., 2014]. Среди способов переработки превалируют сернокислотные, при реализации которых получают целый ряд дефицитной, а зачастую и импортозамещающей продукции. Многочисленные научные изыскания свидетельствуют об экономической и экологической целесообразности реализации уже подготовленных разработок.

В частности, научный и практический интерес представляют исследования, связанные с получением наполнителей для покрывных и герметизирующих составов, широко используемых в различных отраслях. Так, диоксид титана вводится в состав гибридных силануретановых герметиков, позволяющих заменить сварочное крепление металлов их склеиванием в производстве военно-транспортных средств, в том числе судов различного типа. При этом снижается трудоемкость производства, а значит, и его стоимость. Эластичная фиксация соединений уменьшает вибрацию во время эксплуатации транспорта, снижает вероятность коррозии соединительных элементов, увеличивает срок службы транспортного средства и облегчает его ремонт. Диоксид титана увеличивает прочность гибридных силануретановых герметиков, поскольку облегчает формирование трехмерной структуры [Отечественные..., 2018]. Известно о широком применении диоксида титана в качестве усиливающего наполнителя при изготовлении герметизирующих паст большой номенклатуры силоксановых герметиков [Наполнители…, 1981]. Диоксид титана применяется как наполнитель в клеях с высокими диэлектрическими свойствами, работоспособных при температуре 200 °С и кратковременно — до 300 °С.

Не меньшее внимание уделяется способам получения титановых сорбентов, в частности, щелочных титаносиликатов каркасной структуры, подобной некоторым минералам. Специфическое строение их кристаллов (присутствие катионов щелочных металлов и молекул воды во внекаркасном пространстве) определяет повышенную способность таких материалов к ионоообменным замещениям.

В данной статье приведены результаты исследований вариантов переработки титанита, которые подготовлены к опытно-промышленной проверке с получением продуктов, востребованных на современном рынке неорганических материалов и необходимых для решения проблем импортозамещения.

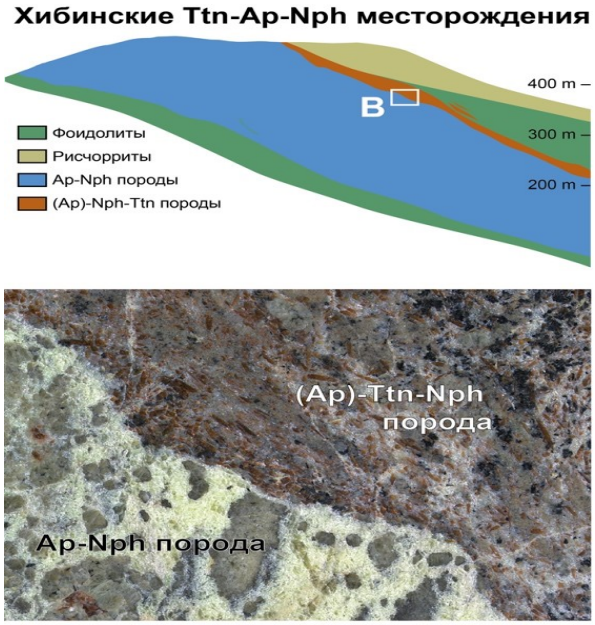


Рис. 1. Геологическая позиция хибинских титанитовых руд [Titanite..., 2018]

По традиционной технологии титанитовый концентрат выделяют из пенного продукта нефелиновой флотации. Это технологически сложный процесс, поэтому извлечение сфена не превышает 15 %. Между тем в рудных пластах встречаются участки, так называемые «сфенитовые гнезда-линзы», в которых концентрация сфена достигает 50–80 % (рис. 1). Такие скопления пластинчатых и клиновидных кристаллов сфена характеризуется хорошей кристаллографической индивидуальностью. При обогащении апатитовой руды с повышенным содержанием сфена по действующей схеме эффективность отделения апатита снижается из-за близости флотационных свойств кальцийсодержащих минералов. Поэтому присутствие сфенитовых скоплений в руде нежелательно. С другой стороны, такие скопления сфена могут быть отделены от общей массы руды достаточно просто и обогащены химическим методами, при этом извлечение сфена может достигать 60–70 % .

Объекты, методы и ход работы

Объектом исследования является титанитовая руда месторождения Коашвы. Руду измельчали в щековой дробилке, а затем в шаровой мельнице при соотношении мелющих тел и концентрата 5:1 в течение 6 часов. Далее проводили классификацию (сухое просеивание) с отделением фракции порошка менее 40 мкм и определяли химический состав измельченного образца. Состав основных компонентов титанитовой руды перед очисткой приведен ниже, мас. %.

TiO_2	22,48	57–58 % сфена
Al_2O_3	5,45	15–16 % нефелина
P_2O_5	4,62	15–16 % апатита

В состав руды также входит эгирин (до 8 % по массе). Основываясь на ранее выполненных исследованиях, проведено обогащение титанитовой руды с получением концентрата, содержащего 30–32 % поTiO_2. Процесс выщелачивания титана (IV) из титанита в раствор осуществляется в «мягких» условиях ($C_{H_2SO_4}$ — 5,5–6,0 моль·л$^{-1}$, температура — 100–110 °C), что обеспечивает высокую и длительную устойчивость сульфатного раствора, благодаря присутствию в нем титана (IV) преимущественно в виде мономерных титанилсульфатных комплексов. Из полученных растворов кристаллизацией в известных условиях [Наполнители…, 1981; Titanite..., 2018] выделяется соединение сульфата оксотитана (IV) — $TiOSO_4 \cdot H_2O$ (СТМ), которое является прекурсором для получения других титановых соединений, обладающих функциональными свойствами. Так, разработан новый способ получения высокоэффективного нетоксичного титанового дубителя — аммоний сульфат оксотитана (IV) — $(NH_4)_2TiO(SO_4)_2 \cdot H_2O$ (СТА) посредством твердофазной реакции, протекающей в условиях механоактивации (МА). Для проведения эксперимента порошки сульфата оксотитана (IV) и сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4 \cdot H_2O$ в стехиометрическом количестве смешиваются, смесь помещается в барабан планетарной мельницы типа Pulverisette-7. Анализ экспериментальных данных позволил выбрать оптимальные условия МА для осуществления химической реакции с получением двойной соли: отношение шары : порошок составляет по массе 10:1, скорость вращения барабанов не превышает 450 об/мин. Увеличение скорости сопровождается переходом избыточной механической энергии в тепловую, что приводит к разложению сульфата аммония с образованием аммиака.

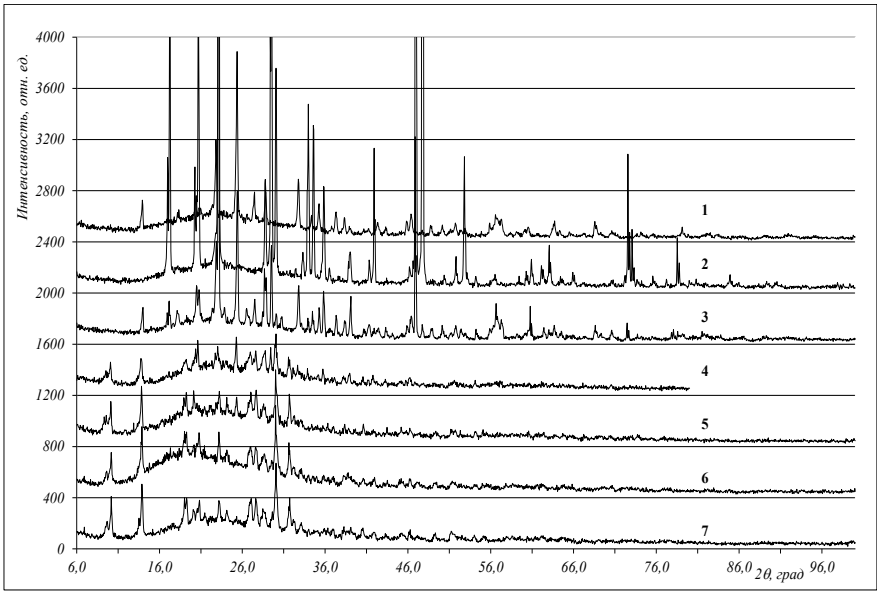


Рис. 2. Дифрактограммы исходных компонентов: сульфата оксотитана (*1*) и сульфата аммония (*2*) и их смесей. Измельчение смесей в течение, час: 0,1 (*3*), 0,5 (*4*), 1 (*5*), 5 (*6*) и 10 (*7*)

На основе данных рентгенофазового анализа (рис. 2) удалось проследить кинетику и механизм физико-химических превращений в высокоэнергетическом поле, созданном механическим путем. Судя по изменению интенсивности пиков на дифрактограммах (уширение и исчезновение), химическая реакция протекает с образованием промежуточной фазы α-$(NH_4)_2TiO(SO_4)_2$, которая в дальнейшем перекристаллизовывается в фазу $(NH_4)_2TiO(SO_4)_2 \cdot H_2O$. Очевидно, что высокая скорость реакции компонентов при МА обусловлена параллельно протекающими физико-химическими процессами, интенсивной гомогенизацией твердофазной системы и значительным уменьшением размера частиц компонентов с образованием кристаллитов с активной поверхностью и свободным зарядом.

При термолизе СТА, в условиях постепенного нагревания (на 10 °С в мин), в температурном интервале 435–480 °С начинается процесс формирования диоксида титана со структурой анатаза, стабильность которой сохраняется при температуре выше 900 °С. По-видимому, причиной высокой стабильности анатаза является наличие в кристаллах СТА прочной связи между титаном (IV) и серой (VI), препятствующей образованию структуры с более плотной упаковкой, характерной для рутила. Изучено влияние МА анатаза на ослабление этой связи и снижение температуры фазового перехода его в рутил. Анатаз, полученный прокаливанием СТА при 600–700 °С, подвергали МА в мельнице со скоростью вращения барабанов 650–750 об/мин в течение 0,5–2,0 часов, после чего активированный продукт вновь прокаливали при 800–850 °С.

С помощью РФА определяли фазовый состав исследуемых порошков до и после МА и после повторного прокаливания (табл. 2), что позволило сформировать представление о механизме деформирования структуры анатаза при высокоэнергетическом воздействии. Образующаяся при этом промежуточная фаза с дефектной структурой, подобной брукиту, является прекурсором ее

перестройки при прокаливании в более организованную плотную структуру, характерную для рутила. Выбор оптимальных условий твердофазного синтеза рутила из СТА положен в основу способа получения диоксида титана рутильной модификации, обеспечивающей практически полный переход анатаза в рутил при температуре не выше 850 °С: *термолиз СТА при 700 °С с получением анатаза → МА анатаза в течение 1 часа → прокаливание активированного порошка при 800–850 °С с образованием рутила.*

Таблица 2

Фазовый состав образцов, мас.%

МА, ч	Термолиз СТА 700 °С — МА			Термолиз СТА 700 °С — МА — прокаливание 850 °С		
	рутил	анатаз	брукит	рутил	анатаз	брукит
Соотношение анатаз : шары (1:10)						
0,5	–	80	20	15	85	–
1	25	55	20	90	10	–
2	10	40	50	90	10	–
Соотношение анатаз : шары (1:15)						
0,5	–	65	35	20	80	–
1	60	10	30	95	5	–
2	55	10	35	95	5	–

Синтез титаносиликатных сорбентов со структурой, подобной минералу иванюкит, проводили с использованием раствора СТА концентрации, моль/л: TiO_2 — 1, H_2SO_4 — 1,1–1,5; в присутствии восстановителя — порошка Zn. Источником кремния служил раствор жидкого стекла концентрации, мас. %: SiO_2 — 31,8; Na_2O — 10,1 (плотность — 1,46 г/дм^3). Заданный показатель pH при синтезе регулировали добавкой щелочи NaOH. При смешивании перечисленных компонентов получали гелеобразный прекурсор, который помещали в автоклав и подвергали гидротермальной обработке для формирования кристаллического осадка. Состав осадка определяли с помощью дифрактометра Shimadzu XRD-6000.

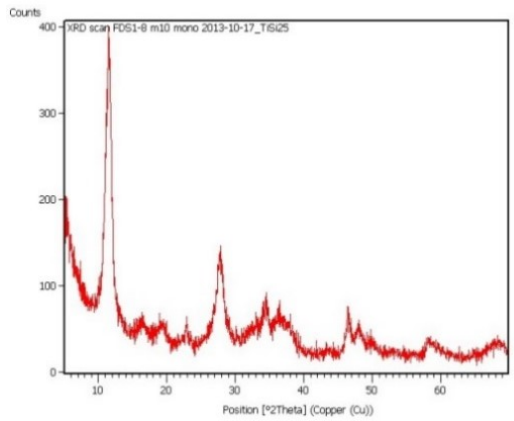


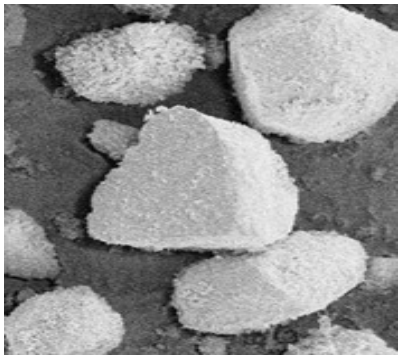
Рис. 3. Дифрактограмма образцов иванюкита

Состав минерала иванюкит соответствует формуле

$$Na_4(TiO)_4(SiO_4)_3{\cdot}6H_2O.$$

Эксперименты по синтезу показали, что стехиометрический расход компонентов не позволяет получить иванюкит. Изучение процесса фазообразования в щелочной системе и анализ полученных результатов дали возможность определить концентрационную область, в

которой при гидротермальном синтезе формируется осадок со структурой иванюкита. Дифрактограммы образцов иванюкита в найденной области практически идентичны (рис. 3). С помощью растрового микроскопа мы установили размер кристаллических частиц иванюкита (рис. 4), который изменяется в узком интервале — 12–18 мкм. Поверхностные свойства частиц определяли на приборе Tri Star 3020 по методу Брюнера — Эммета — Теллера (БЭТ), основанному на адсорбции-десорбции азота (табл. 3).



|—| 3 мкм

Рис. 4. СЭМ-изображение образца 2 (табл. 3)

Высокие показатели удельной поверхности синтетического иванюкита ($S_{уд}$ — 138–157 м^2/г) и пористости (общий объем пор $V_{пор}$ — 0,72–0,83 см^3/г), а также наличие подвижных внекаркасных катионов Na^+ и молекул воды оказывают положительное влияние на скорость и полноту обменных процессов, протекающих в сорбционных системах.

С использованием традиционной методики определена сорбционная емкость иванюкита (образец 2) по отношению к катионам Cs^+, Sr^{2+} и Co^{2+}. Получены также достаточно высокие показатели сорбционной емкости, мг-экв/г: Cs^+ — 3; Sr^{2+} — 4,2; Co^{2+} — 3,4. Данный результат позволяет говорить о перспективности эффективного использования разработанного сорбента в процессах ионного обмена.

Таблица 3

Поверхностные характеристики образцов иванюкита

Номер образца	Условия получения образца в оптимальной области	Показатели		
		$S_{уд}$, м^2/г	$V_{пор}$, см^3/г	$D_{пор}$, нм (min-max)
1	3,9Na:Ti:4Si:160H_2O	157,4±1,1	0,73	17,0±0,1(2,1–60,4)
2	4Na:Ti:4,5Si:160H_2O	143,3±1	0,75	18,1±0,2 (2,9–62,3)
3	4,5Na:Ti:5Si:160H_2O	146,9±1	0,81	16,8±0,1 (4,3–58,9)

Получен патент на изобретение, и ведется монтаж пилотной установки для реализации разработанной технологии, интерес к которой проявляется как у отечественных, так и у зарубежных потребителей. В частности, идут переговоры с японской фирмой “Chemical Force Co., LTD”, работающей над проблемой очистки стоков от радионуклидов на АЭС «Фукусима».

Заключение

Таким образом, титанит, входящий в состав апатитонефелиновых руд, является перспективным сырьем для получения дефицитных функциональных титансодержащих материалов. Таковым, в частности, является диоксид титана — наполнитель термостойких герметизирующих составов и эффективного

титаносиликатного сорбента-ионообменника со структурой, подобной минералу иванюкит. Получение таких материалов повысит комплексность использования апатитонефелиновых руд, а их применение в промышленных масштабах послужит решению проблемы импортозамещения.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01522).

Литература

Инновационные технологии переработки концентратов комплексного обогащения апатитонефелиновых руд / А. И. Калугин [и др.] // Горн. журн. 2014. № 10. С. 69–72.

Ларичкин Ф. Д., Фадеев А. М., Череповицын А. Е. Проблемы изучения и освоения минерально-сырьевых ресурсов арктического региона // Арктика: экология и экономика. 2012. № 1 (5). С. 8–15.

Наполнители для полимерных композиционных материалов: справ. пособие / под ред. Г. С. Каца и Д. В. Милевского. М.: Химия, 1981. 736 с.

Отечественные гибридные силан-функциональные клеи-герметики Виладекс с улучшенными эксплуатационными свойствами / С. Е. Логинова [и др.] // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 5. С. 2–7.

Titanite Ores of the Khibiny Apatite-Nepheline-Deposits: Selective Mining, Processing and Application for Titanosilicate Synthesis / L. G. Gerasimova [et al.] // Minerals. 2018. Vol. 8. Is. 10. 446 p.

Сведения об авторах

Герасимова Лидия Георгиевна
доктор технических наук, главный научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»; e-mail: gerasimova@chemy.kolasc.net.ru
Маслова Марина Валентиновна
доктор технических наук, главный научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»; e-mail: maslova@chemy.kolasc.net.ru
Щукина Екатерина Сергеевна
кандидат технических наук, научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»; e-mail: shuki_es@chemy.kolasc.net.ru

Lidia G. Gerasimova
Dr Sc. (Engineering), Main Researcher of Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity; e-mail:gerasimova@chemy.kolasc.net.ru
Marina V. Maslova
Dr Sc. (Engineering), Main Researcher of Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity; e-mail: maslova@chemy.kolasc.net.ru
Ekaterina S. Shchukina
PhD (Engineering), Researcher of the Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity; e-mail:shuki_es@chemy.kolasc.net.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.013
УДК 66.081:54-128.4

Р. И. Корнейков, В. И. Иваненко, Н. В. Жаров
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»

СОРБЦИЯ КАТИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ФОСФАТОТИТАНОВЫМИ МАТРИЦАМИ

Аннотация

Показано, что сорбционные материалы на основе гидрофосфатов оксотитана (IV) обладают высокими значениями статической обменной емкости. Рассчитанные коэффициенты распределения подтверждают, что разработанные составы перспективны для очистки многокомпонентных технологических стоков горно-металлургических производств от катионов токсичных металлов, причем модифицированный цирконием образец представляет интерес для коллективного извлечения катионов металлов из сложных по химическому составу систем.

Ключевые слова:

сорбенты, очистка, технологические стоки, фосфаты титана (IV), катионы тяжелых металлов.

Roman I. Korneikov, Vladimir I. Ivanenko,Nikita V. Zharov
Tananaev Institute of Chemistry of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”

SORPTION OF HEAVY METAL CATIONS FROM TECHNOLOGICAL SOLUTIONS BY TITANIUM PHOSPHATES MATRICES

Abstract

It was shown that sorption materials based on oxotitanium (IV) hydrophosphates have high values of static exchange capacity. The calculated distribution coefficients show that the developed sorbent compositions are promising for the purification from toxic metal cations of multicomponent technological effluents of mining and metallurgical industries, and a sample modified with zirconium is of interest for the collective extraction of metal cations from systems with a complex chemical composition.

Keywords:

sorbents, purification, process effluents, titanium (IV) phosphates, heavy metal cations.

Введение

В процессе деятельности на горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятиях образуются технологические стоки с высоким содержанием катионов токсичных металлов — Cu^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+} и др. [Касиков, 2002; Киреев и др., 2007]. Такие отходы, попадая в окружающую среду, оказывают негативное воздействие на экосистемы. Сложность переработки растворов обусловлена многокомпонентностью состава и высокими концентрациями отдельных соединений в сравнении с содержанием катионов-токсикантов. Предложены экстракционные и осадительные способы выделения микроколичеств токсичных металлов из технологических растворов [Касиков, 2002; Милютин, 2008].

Применение экстракционных процессов ограничено из-за растворимости экстрагентов и, как следствие, вторичного загрязнения очищаемых растворов, а также образования больших объемов вторичных водных растворов [Ласкорин, 1962]. Осадительный метод — универсальный способ извлечения токсикантов как в ионном, так и в коллоидном состоянии. Его главный недостаток — невысокая степень очистки растворов и образование большого количества вторичных отходов [Милютин, 2008]. Для очистки технологических растворов

наиболее перспективны ионообменные методы [Ласкорин, 1962; Ласкорин и др., 1973; Особенности..., 1984; Киреев и др., 2007], а в качестве ионитов интерес могут представлять сорбционные материалы на основе фосфатов титана (IV) с мольным соотношением P:Ti $\leq$ 1, обладающие высокими сорбционными характеристиками, устойчивостью и обеспечивающие надежную иммобилизацию высокотоксичного сорбата [Повышение..., 2011; Иваненко и др., 2016]. Сорбционные свойства вышеуказанных соединений в отношении катионов Cu^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+} изучены недостаточно.

Цель работы заключалась в исследовании сорбционных свойств сорбентов на основе гидрофосфатов оксотитана (IV) по отношению к указанным катионам металлов.

Материалы и методы

Титанофосфатные сорбенты получали, согласно авторской методике [Зависимость..., 2008; Способ..., 2010], предварительным осаждением гидроксидом натрия из титансодержащего раствора высокогидратированного прекурсора оксогидроксида Ti(IV) с последующей его отмывкой от маточного электролита и обработкой ортофосфорной кислотой. Дальнейшая сушка способствовала формированию воздушно-сухого продукта. Модифицирование титанофосфатных матриц цирконием осуществляли путем введения раствора Zr(IV) в раствор Ti(IV) перед стадией осаждения прекурсора. Ранее было показано, что введение в состав сорбента катионов металлов, отличающихся от титана (IV) по кислотно-основным свойствам, например циркония (IV), способствует повышению ионообменных свойств [Повышение..., 2011]. На рис. 1 представлена схема получения сорбентов на основе гидрофосфатов оксотитана (IV).

Содержание фосфора в синтезированных сорбентах анализировали фотоколориметрически с молибдатом аммония на фотоэлектроколориметре Leki-1107. Содержание титана определяли фотоколориметрическим (с пероксидом водорода) и атомно-абсорбционным методами, содержание воды, гидроксо- и гидрофосфатных групп — путем сопоставления результатов химического, дифференциально-термического и термогравиметрического анализов.

При определении содержания катионов металлов в растворе использовали масс-спектрометрическую систему с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) с динамической реакционной системой ELAN 9000 DRC-e Perkin Elmer и плазменный эмиссионный спектрометр ICPS-9000 Shimadzu. Для дифференциально-термического анализа твердых фаз использовали низкочастотный термографический регистратор НТР-70 с программным нагревательным устройством ПРТ-1000М. В качестве эталона применяли прокаленный оксид аллюминия Al_2O_3. Термогравиметрический анализ проводили с помощью тензорных весов ВТ-1000. Температуру измеряли платина-платинородиевыми термопарами в комплекте с потенциометром ПП-63. Скорость нагрева составляла 10 град·мин$^{-1}$. Процесс гетерогенного катионного замещения на синтезированных сорбентах проводили в статических условиях при различных равновесных значениях pH, температуры, отношении жидкой и твердой фаз (Ж:Т) в соответствии с уравнением:

$$RH + 1/zM^{z+} \leftrightarrow H^{+} + 1/zMR_z \quad (1)$$

где R — гидратированная матрица сорбента; H^+ — протоны функциональных групп, замещаемые катионом сорбируемого металла M^{z+}.

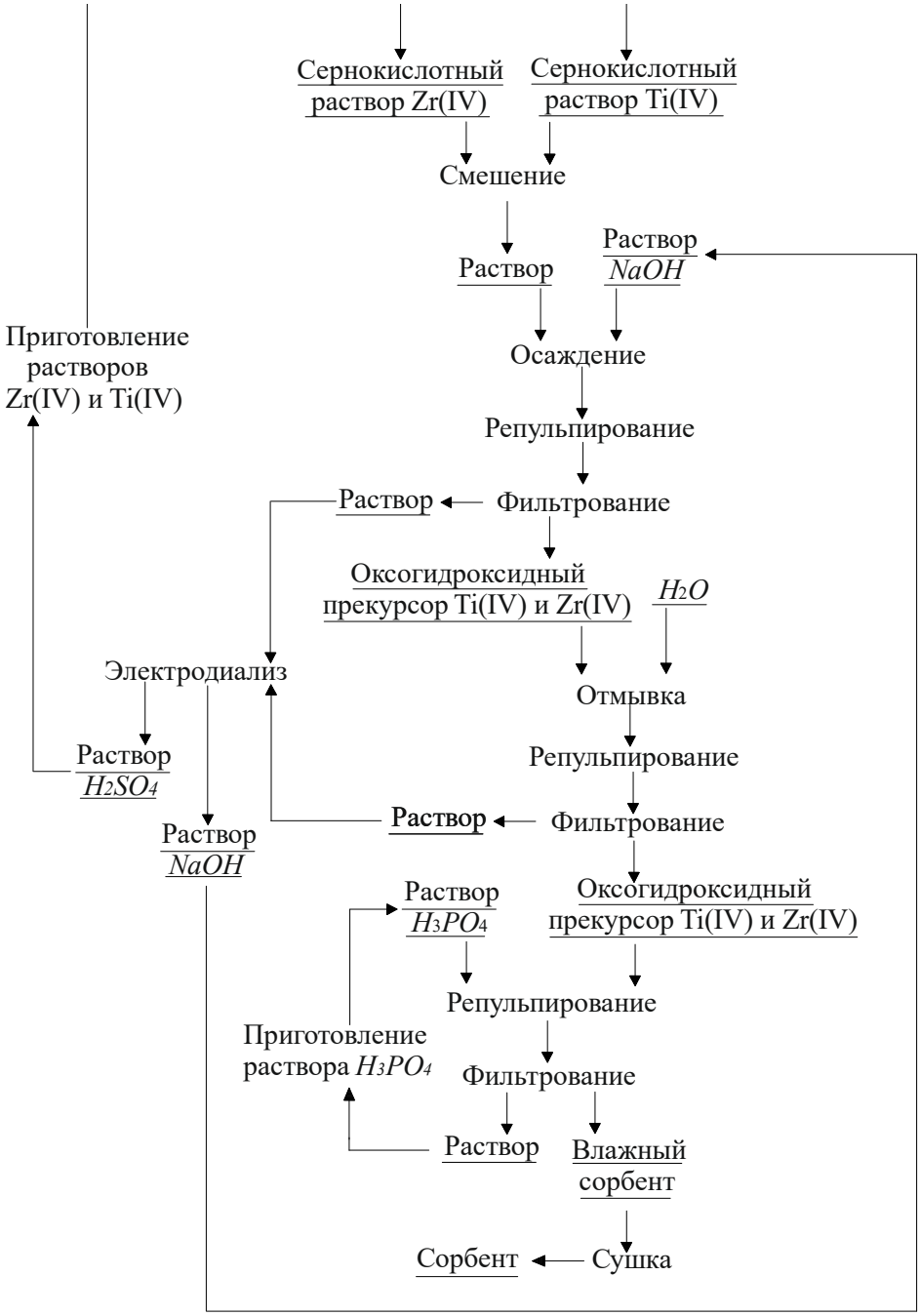


Рис. 1. Принципиальная схема получения сорбентов на основе гидрофосфатов оксотитана

За равновесные значения pH принимали стационарные во времени показатели, полученные на иономере И-130.2М.1 с точностью ± 0,02. В качестве индикаторного электрода использовали селективный по отношению к ионам водорода электрод марки ЭСЛ-43-07, в качестве вспомогательного — хлорсеребряный электрод Ag/AgCl марки ЭВЛ-1М3.

Коэффициенты распределения (K_d) рассчитывали по уравнению:

$$K_d = A \cdot \alpha/(100 - A), \qquad (2)$$

где A — процентное содержание сорбированного катиона металла; α — отношение объема жидкой фазы к массе сорбента.

Удельную поверхность порошков определяли методом термической десорбции азота на электронном измерителе удельной поверхности FlowSorb II 2300 Micrometritics. Дегидратацию синтезированных титанофосфатных сорбентов осуществляли в сушильном шкафу марки Loip LF.

Результаты и обсуждения

Синтезированные аморфные сорбенты на основе гидратированных оксогидроксофосфатных соединений титана (IV) имели следующий состав:

- титанофосфатные — $TiO_{(2-x-y)}(OH)_{2y}(HPO_4)_x \cdot nH_2O$, где x = 0,3–1,0, y = 0–0,5, n = 1,3–6,3;
- модифицированные цирконием (IV) — $Zr_xTiO_{(1+2x-y)}(OH)_{2y}(HPO_4) \cdot nH_2O$, где x = 0,1–0,25, y = 0–2x.

Все образцы содержали воду — конституционную (в виде гидроксо- и гидрофосфатных групп) и координационную (в виде аквалигандов).

Определено влияние «обводненности» сорбента на его физико-химические свойства. Показано, что в гидратированных образцах значение статической обменной емкости (СОЕ) соответствует теоретически рассчитанной (рис. 2). Дегидратация ионитов приводит к снижению СОЕ, также снижается удельная поверхность ($S_{уд}$) синтезированных соединений, причем для немодифицированного образца существеннее.

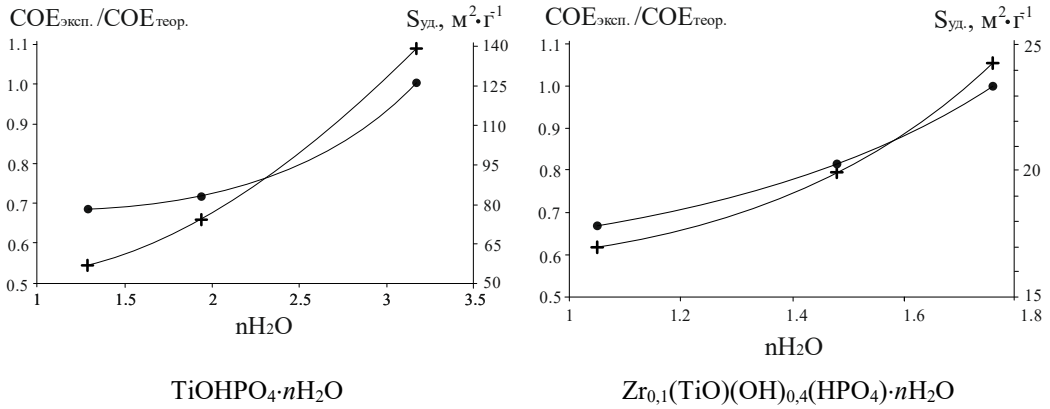


Рис. 2. Изменение отношения $COE_{эксп}/COE_{теор}$ (●) и $S_{уд.}$ (+) при дегидратации сорбентов

Значительное увеличение размеров частиц сорбционных материалов практически не оказывает влияния на статическую обменную емкость. Так, для образца состава $TiOHPO_4 \cdot 3{,}17H_2O$ значения СОЕ по катионам кобальта при размерах частиц 5 и 160–630 мкм равнялись 4,53 и 3,86 мг-экв·г$^{-1}$ соответственно, а для образца состава $Zr_{0,1}(TiO)(OH)_{0,4}(HPO_4) \cdot nH_2O$ при аналогичной крупности

частиц СОЕ — 4,67 и 4,22 мг-экв·г$^{-1}$. В случае образца, легированного цирконием, СОЕ снижалась в меньшей степени, что, вероятно, связано с большей доступностью ионообменных центров сорбента.

Зависимость статической обменной емкости от содержания «свободной» воды в составе сорбента антибатна. Зависимость от «обводненности» константы гетерогенного катионного замещения (–lg $K_{обм}$), которая характеризует селективность ионообменной матрицы к катионам металлов, напротив, — симбатна (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость константы гетерогенного катионного замещения (–lg $K_{обм}$) от гидратации сорбентов различного состава по катионам металлов

Сорбент	Температура сушки, °С	nH_2O	Константа –lg $K_{обм}$			
			Fe^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}
Титанофосфатный $TiOHPO_4 \cdot nH_2O$	20	3,17	2,62	2,74	2,85	–
	90	1,93	2,16	2,31	2,42	–
Модифицированный цирконием $Zr_{0,1}(TiO)(OH)_{0,4}(HPO_4) \cdot nH_2O$	20	1,76	1,73	1,80	1,93	1,55
	45	1,48	1,57	1,68	1,82	1,42
	90	1,05	1,39	1,44	1,64	1,27

Повышение значений константы –lg $K_{обм}$ при дегидратации сорбционных материалов по отношению к Fe^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, возможно, связано с усилением подвижности ионов водорода в функциональных HPO_4^{2-}-группах сорбента, вследствие чего повышается сродство ионообменной матрицы к катионам металлов.

Изучение влияния анионного фона электролита при извлечении катионов 3d-элементов показало, что селективность сорбционной матрицы (на примере легированного цирконием образца) снижается (табл. 2):

- в сульфатных и нитратных средах в ряду: $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Fe^{2+} > Co^{2+}$;
- в хлоридных средах в ряду: $Cu^{2+} > Fe^{2+} > Co^{2+} > Ni^{2+}$.

Изменяются также кристаллохимические радиусы катионов металлов [Лурье, 1962].

Таблица 2

Значения константы –lg $K_{обм}$ на сорбенте состава $Zr_{0,1}(TiO)(OH)_{0,4}(HPO_4) \cdot 1,76\ H_2O$ в растворах с различной природой анионного фона электролита

Анионный фон раствора	Константа –lg $K_{обм}$			
	Fe^{2+}	Co^{2+}	Ni^{2+}	Cu^{2+}
Нитратный	–	1,63	1,46	1,31
Сульфатный	1,59	1,68	1,51	1,35
Хлоридный	1,73	1,80	1,93	1,55

Исследования сорбционного извлечения катионов меди и никеля из растворов, моделирующих технологические стоки ГМК «Норникель», показали, что в присутствии высоких концентраций фоновых компонентов хлоридных и сульфатных солей натрия при pH~5 (т. е. отношении жидкой и твердой фаз Ж:Т = 100) немодифицированный и модифицированный цирконием образцы эффективно сорбировали катионы Cu^{2+}, в то время как катионы Ni^{2+} не извлекались (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициенты распределения (K_d) катионов меди и никеля при их совместном присутствии в растворе на сорбентах различного состава (состав раствора, г·л$^{-1}$: Cu^{2+} — 0,125; Ni^{2+} — 0,118; NaCl — 58,5; Na_2SO_4 — 142)

pH	Сорбент	K_d, см^3·г$^{-1}$	
		Cu^{2+}	Ni^{2+}
5,1–5,2	$Zr_{0,1}(TiO)(OH)_{0,4}(HPO_4)\cdot 1,76H_2O$	6152	32
	$TiO(OH)_{0,24}(HPO_4)_{0,88}\cdot 1,89H_2O$	5734	6
3,8–4,0	$Zr_{0,1}(TiO)(OH)_{0,4}(HPO_4)\cdot 1,76H_2O$	24900	12700
	$TiO(OH)_{0,24}(HPO_4)_{0,8}\cdot 1,89H_2O$	12400	502

При понижении величины pH сорбции до ~4 существенно повышалась эффективность извлечения и меди, и никеля. Возможно, это связано с подавлением процесса образования гидроксокомплексов катионов металлов в этой области pH. Титаноциркониевая матрица эффективно сорбировала Cu^{2+} и Ni^{2+}, титановый образец обладал большим сродством к катионам никеля.

Заключение

Таким образом, сорбционные материалы на основе фосфатов титана (IV) обладают высокими значениями статической обменной емкости. Рассчитанные коэффициенты распределения показали, что разработанные составы перспективны для очистки многокомпонентных технологических стоков горно-металлургических производств от катионов токсичных металлов, при этом модифицированный цирконием образец сорбента представляет интерес для коллективного извлечения катионов металлов из сложных по химическому составу систем.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках проекта № 17-19-01522.

Литература

Зависимость ионообменных свойств сорбента на основе гидрофосфата оксотитана от состава / В. И. Иваненко [и др.] // ЖПХ. 2008. Т. 81. № 5. С. 726–729.

Иваненко В. И., Корнейков Р. И., Локшин Э. П. Иммобилизация катионов металлов титанофосфатными сорбентами // Радиохимия. 2016. Т. 58. № 2. С. 140–146.

Касиков А. Г. Пути снижения загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами при переработке сульфидных медно-никелевых руд / Экология и развитие Северо-Запада России: сб. ст. СПб.: МАНЭБ, 2002. С. 271–275.

Киреев Д. С., Белоглазов И. Н., Эль-Салим С. З. Интенсификация процесса сорбции цветных металлов из сточных вод в переменном электрическом поле // Цв. мет. 2007. № 5. С. 42–45.

Ласкорин Б. Н. Сорбционные и экстракционные процессы в гидрометаллургии цветных и редких металлов // Разделение близких по свойствам редких металлов. М.: Металлургиздат, 1962. С. 11–27.

Ласкорин Б. Н., Голдобина В. А., Копанев А. М. Сорбция ионов цветных металлов и железа неорганическими ионитами на основе титана // Цв. мет. 1973. № 1. С. 22–24.

Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Госхимиздат, 1962. 288 с.

Милютин В. В. Физико-химические методы извлечения радионуклидов из жидких радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности: автореф. дис. … докт. хим. наук. М., 2008. 49 с.

Особенности сорбции катионов переходных металлов различными формами фосфата титана / В. Н. Беляков [и др.] // Украинский химический журнал. 1984. Т. 50. № 1. С. 43–47.

Повышение эффективности титанофосфатных сорбентов модифицированием катионами переходных металлов / В. И. Иваненко [и др.] // ДАН. 2011. Т. 439. № 4. С. 493–495.

Способ получения сорбента на основе фосфата титана: пат. 2401160 Рос. Федерация, МПК B01J 20/02 (2006.01) / Иваненко В. И., Локшин Э. П., Корнейков Р. И., Калинников В. Т.; заявитель и патентообладатель Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева КНЦ РАН. № 2009127217/05: заявл. 14.07.09: опубл. 10.10.10, Бюл. № 28. 11 с.

Сведения об авторах

Корнейков Роман Иванович
кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты; e-mail: korneikov@chemy.kolasc.net.ru

Иваненко Владимир Иванович
доктор технических наук, зав.лабораториейхимии и технологии редкоземельного сырья Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты; e-mail: ivanenko@chemy.kolasc.net.ru

Жаров Никита Владимирович
аспирант, инженер Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты; e-mail: nikzh-85@mail.ru

Roman I. Korneikov
PhD (Engineering), Senior Researcher of Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity; e-mail: korneikov@chemy.kolasc.net.ru

Vladimir I. Ivanenko
Dr Sc. (Engineering), Head of laboratory of the laboratory of chemistry and technology of rare-earth raw materials of Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity;e-mail: ivanenko@chemy.kolasc.net.ru

Nikita V. Zharov
PhD Student, Engineer of Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity;e-mail: nikzh-85@mail.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.014
УДК 66.091.3:546.185:546.[41+46+824]

М. В. Маслова[1], Н. В. Мудрук[1], А. И. Иванец[2],
И. Л. Шашкова[2], Н. В. Китикова[2]
[1]*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центрРоссийской академии наук»*
[2]*Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси*

СИНТЕЗ СОРБЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФОСФАТОВ ТИТАНА, КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ

Аннотация

Впервые разработан метод синтеза нового композиционного сорбента на основе фосфатов Ti, Ca и Mg. В качестве прекурсора титана использовали титанилсульфат аммония, источником кальция и магния служил прокаленный доломит. Установлен состав полученного продукта: $TiO(OH)H_2PO_4 \cdot H_2O$, $Ti(HPO_4)_2 \cdot H_2O$, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ и $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$; соотношение долей данных фаз зависит от условий синтеза. Найдены оптимальные условия, обеспечивающие полный переход элементов из исходных кристаллических прекурсоров в конечный продукт.

Ключевые слова:

титанилсульфат аммония, термоактивированный доломит, синтез, композиционный сорбент, фосфаты титана, фосфаты кальция, фосфаты магния, сорбционные свойства.

Marina V. Maslova[1], Natalya V. Mudruk[1], Andrey I. Ivanets[2],
Irina L. Shashkova[2], Natalya V. Kitikova[2]
[1]*Tananaev Institute of Chemistry of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences"*
[2]*Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus*

SYNTHESIS OF SORPTION MATERIALS BASED ON Ti-Ca-Mg PHOSPHATES

Abstract

A synthesis of a novel adsorbent based on Ti-, Ca- and Mg-phosphates has been carried out for the first time. Ammonium titanyl sulfate and calcined dolomite were used as a titanium, calcium and magnesium sources. The sorbent has been demonstrated to be a composite material with the following components: $TiO(OH)H_2PO_4 \cdot H_2O$, $Ti(HPO_4)_2 \cdot H_2O$, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ and $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$. Also, it has been shown that share ratio of the above phases depends on the synthesis conditions. Optimal conditions ensuring full conversion of the elements from the initial crystalline precursors into the final product have been found.

Keywords:

ammonium titanyl sulfate, calcined dolomite, synthesis, composite sorbent, titanium phosphates, calcium phosphates, magnesium phosphates, sorption properties.

Введение

Натуральные и синтетические фосфаты кальция являются перспективными материалами и используются во многих отраслях химии, медицины и сельского хозяйства. Включение в структуру фосфата кальция различных катионов, в частности катиона магния, существенно меняет его функциональные свойства и расширяет область практического применения [Combes, Rey, 2010; Lin et al., 2014; Magnesium-substituted..., 2018; Zyman et al., 2018; Tuning..., 2019]. Существуют различные методы получения фосфатов кальция и магния: гидротермальный

[The influence…, 2003], твердофазный [Bouropoulos, Koutsoukos, 2000] и сонохимический [Sonochemical..., 2007] синтезы, золь-гельметод [Liu et al., 2001], но наиболее простым и распространенным способом является химическое осаждение. Параметры синтеза, такие как концентрация исходных реагентов, pH раствора, температура, время синтеза, влияют на состав конечных продуктов [Abbona et al., 1992; Heavy metal…, 2003].

Доломит $CaMgCO_3$ является одним из недорогих источников Ca и Mg и может служить адсорбентом для тяжелых металлов [Adsorption..., 2015; Waste dolomite…, 2017]. Механизм адсорбции в этом случае основан на осаждении гидроксидов металлов вследствие щелочного характера поверхности сорбента. Основным недостатком этих сорбентов является невозможность достичь предельно допустимых значений (ПДК) при низких содержаниях загрязняющих катионов (< 10 мг·л$^{-1}$) в очищаемых растворах. Обработка доломита 10–20 %-й кислотой H_3PO_4 приводит к получению смеси гидрофосфатов Ca и Mg [Non-apatite.., 2017]. Материал обладает хорошими сорбционными свойствами по отношению к цветным металлам и способен поглощать радионуклиды стронция и кобальта из жидких радиоактивных отходов (ЖРО) [Using of phosphatized…, 2016; Batch study…, 2017]. Процесс сорбции при этом протекает по механизму конверсии из-за разницы в растворимости фосфатов Ca, Mg и фосфатов удаляемых катионов. Наибольшая сорбционная активность сорбента наблюдается в диапазоне pH от 2 до 5. Для сточных вод с низкой концентрацией растворенного вещества растворение сорбента преобладает над процессом осаждения, что приводит к загрязнению очищенной воды катионами, придающими воде жесткость.

Фосфаты титана различного состава и структуры эффективно поглощают токсичные металлы и различные радионуклиды [Selective…, 2004]. Процесс сорбции в данном случае основан на ионообменной реакции, которая обеспечивает высокую степень очистки сточных вод. Различные способы получения фосфатов Ti и свойства конечных продуктов подробно описаны [Clearfield, 1995]. Основным способом синтеза данных фосфатов является осаждение из растворов титана (IV) с помощью фосфорсодержащих агентов. Другой метод основан на обработке оксида или гидроксида титана (IV) ортофосфорной кислотой [Nanostructured…, 2017].

Осаждение является общим методом синтеза фосфатов Ti, Ca и Mg, что позволяет предположить возможность получить данным способом новый композиционный сорбент на основе фосфатов всех указанных элементов. Присутствие в составе нового сорбента фаз фосфатов перечисленных элементов позволит нивелировать недостатки отдельных фосфорсодержащих сорбентов, в частности, расширить область pH и увеличить степень очистки.

Методы и объекты исследования

В качестве прекурсора титана использовали сульфат титанила и аммония (СТА) состава $(NH_4)_2TiO(SO_4)_2 \cdot H_2O$, который является отходом промышленной переработки апатит-нефелиновых руд [Gerasimova et al., 2009], следующего химического состава, % мас.: TiO_2 — 19,5, NH^{4+} — 9,7, SO_4^{2-} — 52,3. Источником Ca и Mg служил термоактивированный доломит. Термическую активацию доломита

проводили при температуре 850 °C в течение 5 часов. Полученный продукт представлял собой смесь оксида магния и карбоната кальция. Элементный состав прокаленного доломита, % мас.: Ca — 18,59; Mg — 11,27; Si — 3,78; K — 1,8; S — 0,74; Ti — 0,4; Fe — 2,44; Mn — 0,12; Cl — 0,31. В качестве фосфорсодержащих компонентов использовали 1МH_3PO_4 и 1М$NH_4H_2PO_4$.

Содержания элементов в растворах определяли методом плазменной эмиссионной спектроскопии на спектрометре Shimadzu ICPE-9000 после растворения взвешенного количества образца в смеси HF, HNO_3 и HCl. Дифрактограммы получали на дифрактометре Shimadzu D6000 с монохромным CuKα-излучением (λ = 1,5418 Å). Инфракрасные спектры образцов были получены на спектрометре Nicolet 6700. Термогравиметрические (TG/DTG) и дифференциальные сканирующие калориметрические (DSC) данные образцов собирали с использованием термогравиметрического анализатора высокого разрешения (Netzsch STA 409 PC/PG) в атмосфере аргона. Потери веса и тепловой поток регистрировали в диапазоне 25–1000 °C со скоростью нагрева 10 °C·мин$^{-1}$. СЭМ-изображения были получены с использованием сканирующего электронного микроскопа SEMLEO-420 и микроскопа Leika DM 2500P.

Результаты и обсуждение

Для нахождения оптимальных условий синтеза, а также для анализа состава и свойств композиционного сорбента исходные прекурсоры по отдельности предварительно обрабатывали фосфорсодержащими агентами.

Согласно данным химического анализа, в продуктах обработки СТА 1М раствором H_3PO_4 содержание фосфора увеличивается, а количество аммония уменьшается с ростом молярного соотношения Ti:P. При Ti:P = 1:1 содержание фосфора в фильтрате составляет менее 0,2 г·л$^{-1}$. Данные химического анализа продуктов, полученных при различных соотношениях Ti:P, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание компонентов в полученных образцах фосфатов титана

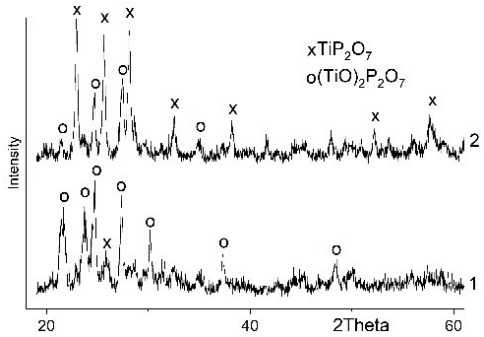
Образец	Содержание компонента, %			Соотношение Ti:P (мол.)
	TiO_2	P_2O_5	NH_4^+	
1	38,18	34,98	1,89	1:1
2	34,44	37,59	0,74	1:1,5
3	30,28	40,31	0,21	1:2

Рентгеноструктурный анализ образцов, высушенных при температуре 60 °C, показал, что все синтезированные продукты являются аморфными соединениями. Термическая обработка продуктов при 850 °C привела к образованию двух кристаллических фаз: $(TiO)_2P_2O_7$ и TiP_2O_7. Фаза TiP_2O_7 была идентифицирована на рентгенограммах прокаленных образцов 2 и 3 как продукт термического превращения α-TiP [Maslova et al., 2012]:

$$Ti(HPO_4)_2 \cdot H_2O \xrightarrow[20-130\ ^\circ C]{-H_2O} Ti(HPO_4) \xrightarrow[150-850\ ^\circ C]{-H_2O} TiP_2O_7 .$$

Доля фазы α-TiP увеличивалась с ростом расхода фосфорной кислоты, и для образца 3 соотношение фаз составляло 1:1 (рис. 1).

ИК-спектр продукта позволил идентифицировать связь Ti-O (рис. 2). Характерные для оксида и гидроксида титана валентные колебания Ti-O наблюдаются в области 700–750 см$^{-1}$. Широкая полоса около 3400 см$^{-1}$ связана с перекрывающимися асимметричными и симметричными валентными колебаниями OH молекул H_2O и групп P-OH. Полоса при 1629 см$^{-1}$ относится к колебаниям OH-группы адсорбированной воды. Полоса поглощения при 1020 см$^{-1}$ относится к колебаниям Ti-O-P фосфатных групп. Колебания в области ниже 630 см$^{-1}$ могут быть объяснены сигналами деформации связи P-OH. Пик при 1407 см$^{-1}$ соответствует колебательным сигналам группы NH^{4+}. ИК-спектр подтверждает, что полученная фаза фосфата титана имеет химическую формулу $TiO(OH)(H_2PO_4)\cdot H_2O$, где протоны групп $H_2PO_4^-$ частично замещаются ионом NH^{4+}.



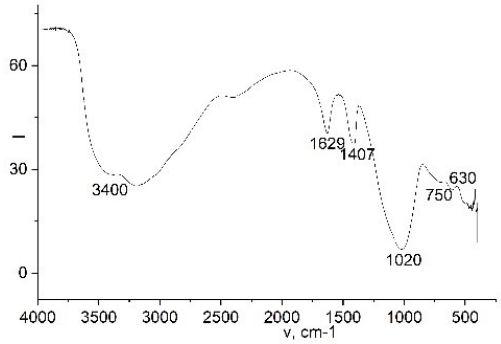


Рис. 1. Дифрактограммы образцов *1* и *3*, прокаленных при температуре 900 °C

Рис. 2. ИК-спектр образца *1*

ИК-спектр продукта позволил идентифицировать связь Ti-O (рис. 2). Характерные для оксида и гидроксида титана валентные колебания Ti-O наблюдаются в области 700–750 см$^{-1}$. Широкая полоса около 3400 см$^{-1}$ связана с перекрывающимися асимметричными и симметричными валентными колебаниями OH молекул H_2O и групп P-OH. Полоса при 1629 см$^{-1}$ относится к колебаниям OH-группы адсорбированной воды. Полоса поглощения при 1020 см$^{-1}$ относится к колебаниям Ti-O-P фосфатных групп. Колебания в области ниже 630 см$^{-1}$ могут быть объяснены сигналами деформации связи P-OH. Пик при 1407 см$^{-1}$ соответствует колебательным сигналам группы NH^{4+}. ИК-спектр подтверждает, что полученная фаза фосфата титана имеет химическую формулу $TiO(OH)(H_2PO_4)\cdot H_2O$, где протоны групп $H_2PO_4^-$ частично замещаются ионом NH^{4+}.

На дифрактограмме прокаленного образца *1* присутствует только фаза $(TiO)_2P_2O_7$ (табл. 1). При термолизе потери массы в 17,62 и 2,0 % наблюдались в областях 20–280 и 280–600 °C соответственно (рис. 3).

Широкий эндотермический пик отмечен в интервале температур 70–132 °C из-за потери свободных и/или адсорбированных молекул воды. В диапазоне температур 132–280 °C происходит несколько параллельных процессов: конденсация гидроксо-, гидрофосфатных групп и выделение ионов аммония.

Потери массы не наблюдаются при температуре выше 600 °С. Два экзотермических пика различной интенсивности, соответствующих превращению фосфатов титана в фазы $Ti_2O(PO_4)_2$ и $(TiO)_2P_2O_7$, обнаружены при 644 и 721 °С в соответствии с процессом термолиза:

$$2TiO(OH)(H_2PO_4)\cdot H_2O \xrightarrow[20-130\ ^\circ C]{-2H_2O} 2TiO(OH)(H_2PO_4) \xrightarrow[130-280\ ^\circ C]{-2H_2O} \times$$

$$\times 2TiO(HPO_4) \xrightarrow[280-650\ ^\circ C]{-H_2O} Ti_2O(PO_4)_2 \xrightarrow[650-720\ ^\circ C]{} (TiO)_2P_2O_7.$$

Общая потеря массы составила 19,62 %, или 2,4 моль H_2O. По схеме термолиза потери воды оценивались в 2,5 моль, что подтверждает предложенный состав образца *1*.

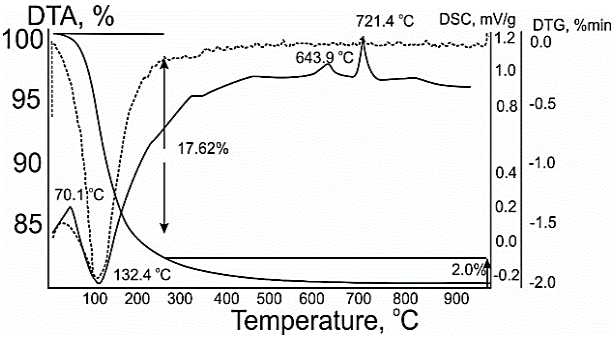


Рис. 3. Термограмма процесса термического разложения образца *1*

Таким образом, образование фосфата титана при соотношении Ti:P = 1:1 протекает согласно гетерогенной реакции:

$$(NH_4)_2TiO(SO_4)_{2\,(s)} + H_3PO_{4\,(aq)} + H_2O_{(aq)} =$$
$$= TiO(OH)H_2PO_{4\,(s)} + (NH_4)_2SO_{4\,(aq)} + H_2SO_{4\,(aq)}$$

Скорость реакции определяется скоростью растворения СТА и скоростью образования фосфата титана. Изучение кинетики синтеза в выбранных условиях показало, что 100 % фосфата титана образовалось через 3 часа, в фильтрате фосфора и титана обнаружено не было (табл. 2).

Таблица 2

Кинетика процесса образования фосфата титана при Ti:P = 1:1
(*S* — степень перехода Ti из прекурсора в фосфат, %)

Время, ч	0,5	1	2	3	4
$S(TiO_2)$	49,83	56,67	90,88	100	100
$S(P_2O_5)$	13,59	26,19	78,40	100	100

При обработке доломита 1М раствором H_3PO_4 при молярном соотношении P:(Ca+Mg) = 1:1 образуются кислые фосфаты кальция и магния, причем степень превращения Ca и Mg в твердые фосфаты составляет 50 % для $CaHPO_4\cdot 2H_2O$ и $MgHPO_4\cdot 3H_2O$ (табл. 3).

Таблица 3

Содержание P, Ca и Mg в полученных образцах

Условия синтеза	Содержание элементов, %		
	P	Ca	Mg
1MH_3PO_4, (Ca+Mg):P = 1:1	24,1	16,3	9,6
1M H_3PO_4, (Ca+Mg):P = 1:1.5	22,2	16,0	8,7
1M $NH_4H_2PO_4$, (Ca+Mg):P = 1:1	24,9	15,9	9,2
1.5M H_3PO_4, (Ca+Mg):P = 1:3	23,1	8,4	0

Более полное превращение магния в малорастворимые фосфаты достигается путем использования $NH_4H_2PO_4$ в качестве фосфорсодержащего агента. Рентгенограмма (рис. 4) образцов, высушенных при 60 °C, показала, что конечный продукт представляет собой смесь нескольких фаз (кристаллических): кислого фосфата кальция, кислого фосфата магния и его аммонийзамещенной формы (струвита). Анализ ИК-спектров продуктов обработки (рис. 5) подтвердил рентгеноструктурные данные, а также показал, что широкие полосы при 3600–3100 и 1640–1700 см$^{-1}$ обусловлены колебаниями (растягивающими и деформационными) молекул воды и OH-групп. Пики при 1200–980 см$^{-1}$ можно отнести к симметричным колебаниям связей P-O, что подтверждает существование фосфатной группы. Группа пиков низкой интенсивности, расположенных в области от 580 до 500 см$^{-1}$, соответствует колебаниям связей P-O. Сигналы при 729, 768 794 см$^{-1}$ вызваны колебаниями связей Ca-O и Mg-O. Резкая полоса при 1438 см$^{-1}$ для образца *2* объясняется колебаниями групп NH^{4+} и присутствием фазы струвита ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$).

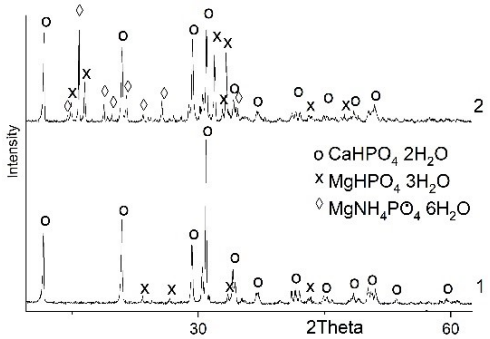


Рис. 4. Дифрактограммы продуктов обработки доломита 1M растворами H_3PO_4 (*1*) и $NH_4H_2PO_4$ (*2*)

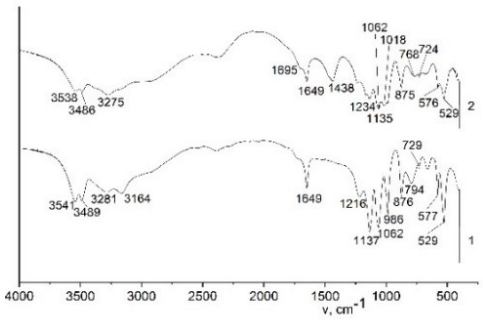


Рис. 5. ИК-спектры продуктов обработки доломита растворами H_3PO_4 (*1*) и $NH_4H_2PO_4$ (*2*)

Обработка доломита 1M раствором H_3PO_4 не позволила получить высокую степень превращения Ca и Mg в фосфатные соединения, что было подтверждено исследованием кинетики процесса (табл. 4). При использовании 1M раствора $NH_4H_2PO_4$ конверсия кальция и магния в фосфатные соединения составила 92–94 % через 6 часов.

Совместное осаждение смеси прекурсоров 10 %-й фосфорной кислотой при (Ti+Ca+Mg):P = 1:1 приводит к образованию растворимых форм фосфатов Ca и Mg. Избыток ионов H^+ в растворе в начальный период времени способствует быстрому растворению доломита. Фосфат магния имеет высокую константу растворимости ($K_{sp} = 10^{-5}$), и его содержание в конечных продуктах не превышает 10 % от максимально возможного, а содержание $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ в конечном продукте составляет около 30 мас. %. Достаточно высокое содержание катионов кальция и сульфат-иона в растворе способствует осаждению сульфата кальция.

Таблица 4

Кинетика процесса обработки доломита
растворами H_3PO_4и $NH_4H_2PO_4$при соотношении (Ca+Mg):P = 1:1
(S — степень перехода компонента из прекурсора в фосфат, %)

Время, ч	1	2	4	6	24	1	2	4	6	24
	H_3PO_4					$NH_4H_2PO_4$				
S(CaO)	20,2	22,6	40,5	69,9	70,2	35,3	40,4	63,3	94,3	98,3
S(MgO)	9,9	12,0	15,3	28,1	28,8	19,7	25,3	59,0	92,1	96,2
$S(P_2O_5)$	12,1	17,7	23,9	40,7	40,8	23,8	30,9	50,8	79,2	82,9

Для синтеза нового композиционного фосфата, исходя из полученных данных, был использован метод дробного осаждения. На первом этапе при синтезе фосфата титана было выбрано молярное соотношение Ti:P, равное 1:1,2. Небольшое увеличение содержания фосфора обеспечивало уровень кислотности водного раствора, необходимый для полного последующего растворения доломита. Через 3 ч к суспензии добавляли 1М раствор $NH_4H_2PO_4$ из расчета (Ca+Mg):P = 1:1 и доломит. Растворение доломита сопровождалось повышением pH до 6,5, что привело к практически полному осаждению фосфатов Ca и Mg.

Рентгенограммы конечных продуктов показали, что фосфат титана формируется в виде аморфной фазы, а фосфаты кальция и магния — в виде кристаллических фаз: $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ и $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$. Фаза гипса при проведении синтеза в выбранных условиях не обнаружена (рис. 6).

Изучение морфологии конечных продуктов показало (рис. 7 *а*), что агломераты фосфата титана образованы мелкими частицами, а агломераты фосфатов кальция и магния — слоями, ориентированными в одном направлении (рис. 7 *б*). Композиционный сорбент состоит из агломератов разных размеров: более крупные (50–70 мкм) характерны для фосфатов Ca и Mg, более мелкие (20–40 мкм) соответствуют фосфату Ti (рис. 7 *в*).

Для фосфатов титана поглощение катионов происходит по ионообменному механизму, фосфаты щелочноземельных металлов проявляют высокую сорбционную активность по отношению к катионам стронция и кобальта, при этом сорбция проходит благодаря конверсии фосфатов. Следует ожидать, что совместное действие фаз, которые были идентифицированы в составе нового материала, позволят значительно увеличить сорбционные свойства данного продукта и расширить рабочую область pH.

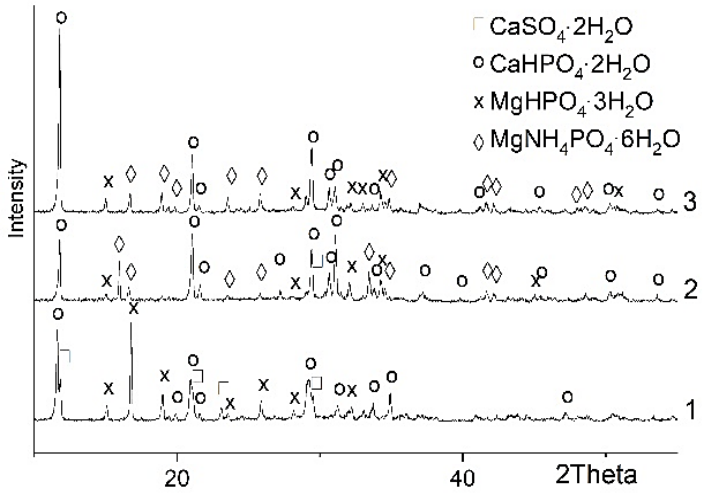
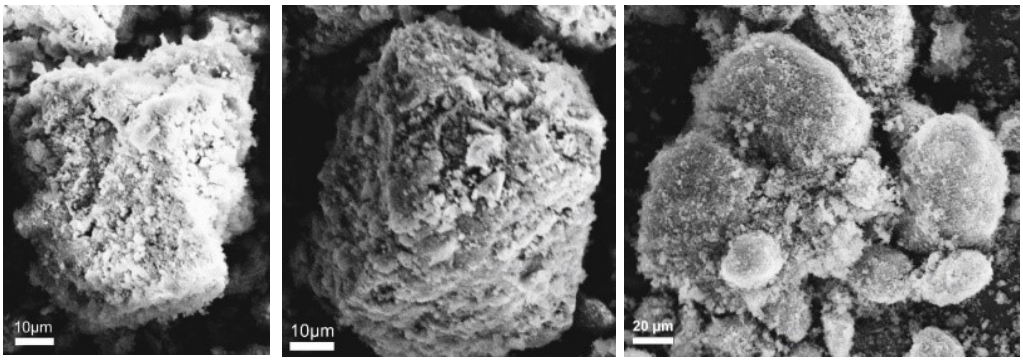


Рис. 6. Дифрактограммы продуктов при проведении синтеза в различных условиях: *1* — 3,5МH_3PO_4, (Ti+Ca+Mg):P = 1:2 (совместное осаждение); *2* — 1МH_3PO_4, Ti:P = 1:1 и 1М$NH_4H_2PO_4$, (Ca+Mg):P = 1:1 (дробное осаждение); *3* — 1МH_3PO_4, Ti:P = 1:1,2 и 1М$NH_4H_2PO_4$, (Ca+Mg):P = 1:1 (дробное осаждение)



а *б* *в*

Рис. 7. СЭМ-изображения полученных образцов: фосфата Ti (*а*); фосфатов Ca и Mg (*б*); нового композиционного сорбента (*в*)

Таким образом, сорбционная емкость композиционного сорбента обусловлена химическим составом конечной твердой фазы, варьирование соотношения данных фаз в конечном продукте путем изменения соотношения прекурсоров позволит получать сорбенты с индивидуальным составом для очистки различных сточных вод.

Выводы

Впервые синтезирован композиционный сорбент на основе фосфатов титана, кальция и магния. Синтез основан на последовательном взаимодействии фосфорсодержащих агентов с кристаллической солью титана и прокаленным доломитом.

Изучен состав полученного продукта:

- аморфные фосфаты титана — $TiO(OH)H_2PO_4 \cdot H_2O$ и $Ti(HPO_4)_2 \cdot H_2O$;

• кристаллические кислые фосфаты кальция и магния — $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$, $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ и $NH_4MgPO_4 \cdot 6H_2O$.

Установлено, что природа и концентрация фосфорсодержащего агента оказывают значительное влияние на состав конечного продукта.

Найдены оптимальные условия, обеспечивающие полный переход Ti, Ca и Mg из прекурсоров в конечный продукт.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-53-00003 Бел_а.

Литература

Abbona F., Franchini-Angela M., Boistelle R. Crystallization of Calcium and Magnesium Phosphates from Solutions of Medium and Low Concentrations // Cryst. Res. Technol. 1992. Vol. 27. No. 1. P. 41–48.

Adsorption of cadmium and nickel from aqueous solutions using dolomite powder / M. Mohammadi [et al.] // Desalin. Water Treat. 2015. Vol. 53. No. 1. P. 149–157.

Batch study of 85 Sr adsorption from synthetic seawater solutions using phosphate sorbents / N. V. Kitikova [et al.] // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2017. Vol. 314. No. 3. P. 2437–2447.

Bouropoulos N. C., Koutsoukos P. G. Spontaneous precipitation of struvite from aqueous solutions // J. Cryst. Growth. 2000. Vol. 213. No. 3–4. P. 381–388.

Clearfield A. Inorganic Ion Exchangers: A Technology Ripe for Development // Ind. Eng. Chem. Res. 1995. Vol. 34. No. 8. P. 2865–2872.

Combes C., Rey C. Amorphous calcium phosphates: Synthesis, properties and uses in biomaterials // Acta Biomater. 2010. Vol. 6. No. 9. P. 3362–3378.

Extended study on the synthesis of amorphous titanium phosphates with tailored sorption properties / M. V. Maslova [et al.] // J. Non. Cryst. Solids. 2012. Vol. 358, No. 22. P. 2943–2950.

Heavy metal immobilization in aqueous solution using calcium phosphate and calcium hydrogen phosphates / S. Sugiyama [et al.] // J. Colloid Interface Sci. 2003. Vol. 259. No. 2. P. 408–410.

Gerasimova L. G., Maslova M. V., Shchukina E. S. The technology of sphene concentrate treatment to obtain titanium salts // Theor. Found. Chem. Eng. 2009. Vol. 43. No. 4. P. 464–467.

Lin K., Wu C., Chang J. Advances in synthesis of calcium phosphate crystals with controlled size and shape // Acta Biomater. 2014. Vol. 10. No. 10. P. 4071–4102.

Liu D. M., Troczynski T., Tseng W. J. Water-based sol-gel synthesis of hydroxyapatite: Process development // Biomaterials. 2001. Vol. 22. No. 13. P. 1721–1730.

Magnesium-substituted calcium phosphate bone cements containing MgO as a separate phase: synthesis and in vitro behavior / M. A. Goldberg [et al.] // Mendeleev Commun. 2018. Vol. 28. No. 3. P. 329–331.

Nanostructured titanium phosphates prepared via hydrothermal reaction and their electrochemical Li- and Na-ion intercalation properties / Y. Zhu [et al.] // Cryst. Eng Comm. 2017. Vol. 19. No. 31. P. 4551–4560.

Non-apatite Ca-Mg phosphate sorbent for removal of toxic metal ions from aqueous solutions / A. I. Ivanets [et al.] // J. Environ. Chem. Eng. 2017. Vol. 5. No. 2. P. 2010–2017.

Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / A. Dąbrowski [et al.] // Chemosphere. 2004. Vol. 56. No. 2. P. 91–106.

Sonochemical preparation of hydroxyapatite nanoparticles stabilized by glycosaminoglycans / Y. Han [et al.] // Ultrason. Sonochem. 2007. Vol. 14. No. 3. P. 286–290.

The influence of pH and temperature on the morphology of hydroxyapatite synthesized by hydrothermal method / J. Liu [et al.] // Ceram. Int. 2003. Vol. 29, No. 6. P. 629–633.

Tuning the properties of magnesium phosphate-based bone cements: Effect of powder to liquid ratio and aqueous solution concentration / R. Gelli [et al.] // Mater. Sci. Eng. C. 2018. Vol. 95. P. 248–255.

Using of phosphatized dolomite for treatment of real mine water from metal ions / A. I. Ivanets [et al.] // J. Water Process Eng. 2016. Vol. 9. P. 246–253.

Waste dolomite powder as an adsorbent of Cd, Pb(II), and Zn from aqueous solutions / A. Gruszecka-Kosowska [et al.] // Environ. Earth Sci. 2017. Vol. 76. No. 15.

Zyman Z., Goncharenko A., Rokhmistrov D. Kinetics and mechanisms of the transformation of precipitated amorphous calcium phosphate with a Ca/P ratio of 1:1 to calcium pyrophosphates // J. Cryst. Growth. 2017. Vol. 478. P. 117–122.

Сведения об авторах

Маслова Марина Валентиновна
доктор технических наук, главный научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты; e-mail: maslova@chemy.kolasc.net.ru
Мудрук Наталья Владимировна
кандидат технических наук, младший научный сотрудник Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»; Апатиты, e-mail: kirnat@chemy.kolasc.net.ru
Иванец Андрей Иванович
доктор технических наук, зав. лабораторией Института общей и неорганической химии НАН Беларуси; e-mail: ivanets@igic.bas-net.by
Шашкова Ирина Лукинична
кандидат технических наук, научный сотрудник Института общей и неорганической химии НАН Беларуси; e-mail: shashkova@igic.bas-net.by
Китикова Наталья Владленовна
кандидат технических наук, научный сотрудник Института общей и неорганической химии НАН Беларуси; e-mail: kitikova@igic.bas-net.by

Marina V. Maslova
Dr Sc. (Engineering), MainResearcher of Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; Apatity; e-mail: maslova@chemy.kolasc.net.ru
Natalya V. Mudruk
PhD (Engineering), Junior Researcher of the Tananaev Institute of Chemistry of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences; e-mail: kirnat@chemy.kolasc.net.ru
Andrey I. Ivanets
Dr Sc. (Engineering), Head of the laboratory of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus; e-mail: ivanets@igic.bas-net.by
Irina L. Shashkova
PhD (Engineering), Researcher of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus; e-mail: shashkova@igic.bas-net.by
Natalya V. Kitikova
PhD (Engineering), Researcher of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus; e-mail: kitikova@igic.bas-net.by

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.015
УДК 502.5 (470.21)

Е. А. Боровичёв, О. В. Петрова
Институт проблем промышленной экологии Севера
ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»

О СОСТОЯНИИ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ «ЛЕДНИКОВЫЙ ВАЛУН» (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация

Представлены результаты проведенных в 2017 г. обследований по локализации памятника природы регионального значения «Ледниковый валун». Со стороны шоссе Санкт-Петербург — Мурманск, на 5-м километре, обнаружен крупный валун, большая часть которого была засыпана при реконструкции автодороги, поверхность испорчена надписью белой краской.

Сделан вывод об утере природоохранного значения этого объекта в результате реконструкции автодороги и необходимости его исключения из списков памятников природы Мурманской обл.

Ключевые слова:

памятник природы регионального значения, особо охраняемые природные территории, «Ледниковый валун», Апатиты.

Eugene A. Borovichev, Olga V. Petrova
Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”

ABOUT THE REGIONAL NATURE MONUMENT «LEDNIKOVY VALUN» (MURMANSK REGION)

Abstract

The results are presented of the surveys conducted in 2017 to localize the regional nature monument Lednikovy Valun. A large glacial boulder was found on the roadside 5 km down the Murmansk — St. Petersburg highway, largely covered with soil during the reconstruction of the highway. The boulder’s surface bears an inscription in white paint. The conclusion is drawn about the loss by the site of its environmental significance as a result of the reconstruction of the highway and the need for its removal from the list of nature monuments in Murmansk Region.

Keywords:

regional nature monuments, specially protected areas, Lednikovy Valun, Apatity.

Введение

На начало 2020 г. в Мурманской обл. функционирует 55 памятников природы. «Ледниковый валун» — один из тех объектов, с которым связано больше всего вопросов, неясностей и домыслов. В 1979 г. известный географ-краевед Б. И. Кошечкин предложил создать этот памятник природы. Идея была поддержана, и решением Мурманского облисполкома от 24.12.1980 № 537 «Об утверждении перечня памятников природы, находящихся на территории области» эта особо охраняемая природная территория была учреждена. Номинальный объект охраны — ледниковый валун, по петрографическому составу которого возможно определить место, откуда он был перемещен ледником, а по ярко выраженной штриховке — относительную мощность ледникового покрова. Подобных валунов на территории области немало, но лишь немногие из них расположены «в шаговой доступности» [Крючков и др., 1988; Крючков, Кондратович, 1988].

Сведения о локализации валуна разнятся в справочниках и даже на листах учредительного документа на памятник природы (Паспорт и Охранное обязательство). Невозможность определить, где же находится «Ледниковый валун», породила множество версий о его местонахождении и судьбе. Так, в посвященной этому объекту статье Википедии [2020] указано, что «Ледниковый валун» был уничтожен в ходе реконструкции пролегающей рядом с ним автотрассы (не позднее 2007 г.).

В 2017 г. сотрудниками Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН было проведено обследование, чтобы определить место нахождения и границы памятника природы, оценить его состояние и значимость как природоохранного объекта.

Результаты

В различных источниках памятник природы известен как «Ледниковый валун у автодороги на Апатиты» или «Ледниковый валун». Его площадь составляет всего 0,1 га. Это самая маленькая ООПТ Мурманской обл.

Согласно паспорту памятника природы, объект расположен «…справа к северу от асфальтированного шоссе, соединяющего город Апатиты с автострадой Мурманск — Ленинград, *на 23-м км этого шоссе (счет километров начинается от поста ГАИ* возле магазина «Урожай», что на ж.-д. станции Апатиты)» [Паспорт…, 1980]. В этом же документе на листе «Краткое описание геологического памятника природы “Ледниковый валун возле Апатитов”» представлено следующее описание местоположения: «*На 5-м километре дороги, соединяющей автостраду Ленинград — Мурманск с городом Апатиты, к северу от дороги, в 1 км от экспериментального участка Ботанического сада КФАН СССР*, находится крупный ледниковый валун» [Паспорт…, 1980].

В «Красной книге экосистем Мурманской области» [Крючков и др., 1988] месторасположение памятника природы значится как «23-й километр шоссе, соединяющего автостраду Мурманск — Ленинград с г. Апатиты, к северу от дороги», в справочнике «Особо охраняемые природные территории Мурманской области» [2003] сведения о нем отсутствуют.

В июне, июле и октябре 2017 г. были обследованы оба варианта расположения памятника природы: 1–10-й километр со стороны г. Апатиты и со стороны автотрассы «Кола» (Санкт-Петербург — Мурманск). Со стороны города Апатиты подходящих под описание объектов не выявлено, со стороны автотрассы Кола, точно на 5-м километре, обнаружен крупный валун, большая часть которого засыпана при реконструкции автодороги (рис. 1). Также на нем имеется надпись, сделанная белой краской. Площадка перед валуном существенно вытоптана (рис. 2).

Согласно п. 1 ст. 25 Закона «Об особо охраняемых природных территориях» № 33-ФЗ, «Памятники природы — уникальные, невосполнимые, ценные в экологическом, научном, культурном и эстетическом отношениях **природные комплексы**, а также **объекты** естественного и искусственного происхождения». Проведенные обследования показали, что «Ледниковый валун» не соответствует ни одному из этих критериев. Кроме того, стало ясно, что сам памятник природы в ходе реконструкции дороги и ее дальнейшей эксплуатации значительно поврежден, несмотря на то, что хозяйственная деятельность, ведущая к нарушению или разрушению памятников природы, запрещена федеральными законами № 33-ФЗ (ст. 27 п. 1) и № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 59 п. 2).

Рис. 1. Расположение памятника природы «Ледниковый валун»

Рис. 2. Частично поврежденный при реконструкции дороги валун на 5-м километре дороги, соединяющей автотрассу Кола с городом Апатиты (со стороны автотрассы). Фото Е. Боровичёва

Таким образом, необходимо констатировать, что точное местоположение «Ледникового валуна» установлено, однако его состояние в настоящее время таково, что говорить о природоохранном или просветительском значении данного памятника природы невозможно. В связи с этим объект необходимо исключить из перечня особо охраняемых природных территорий Мурманской обл.

Статья подготовлена в рамках выполнения госзадания ИППЭС КНЦ РАН, № гос. рег. темы АААА-А18-118021490070-5 и при финансовой поддержке РФФИ (№ 18-05-60142_Арктика).

Литература

Крючков В. В., Кондратович И. И., Андреев Г. Н. Красная книга экосистем Кольского Севера. Апатиты: КФАН СССР, 1988. 105 с.

Крючков В. В., Кондратович И. И. Памятники природы Кольского Севера. Мурманск: Кн. изд-во, 1988. 96 с.

Ледниковый валун // Википедия: сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%83%D0%BD (дата обращения: 22.04.2020).

Особо охраняемые природные территории Мурманской области. Информационные материалы. Изд. 2-е. Мурманск; Апатиты, 2003. 72 с.

Охранное обязательство на памятник природы регионального значения «Ледниковый валун»: [рукопись] // Архив Кольского центра охраны дикой природы. 1980.

Паспорт памятника природы регионального значения «Ледниковый валун: [рукопись] // Архив Кольского центра охраны дикой природы. 1980.

Сведения об авторах

Боровичёв Евгений Александрович
кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе
Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты; e-mail: borovichyok@mail.ru
Петрова Ольга Викторовна
ведущий инженер Института проблем промышленной экологии Севера
ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты;
e-mail: olechka.v.petrova@gmail.com

Eugene A. Borovichev
PhD (Biology), Deputy Director for Science of Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of RAS, Apatity; e-mail: borovichyok@mail.ru
Olga V. Petrova
Leading engeneer of Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of RAS, Apatity; e-mail: olechka.v.petrova@gmail.com

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.016
УДК 330.15:502.335

П. В. Дружинин, Г. Т. Шкиперова, О. В. Поташева
Институт экономики
ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук»

ВЛИЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РЕГИОНОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Аннотация

Проанализировано влияние экономического развития северных регионов на окружающую среду. На основе предложенных моделей оценен эффект структурных сдвигов, модернизации экономики и природоохранной деятельности. Динамика экологических показателей в регионах России и Финляндии близка,

но уровень загрязнений на единицу выпуска сильно различается. Исследование позволило объяснить улучшение экологических показателей при росте экономики, выявить факторы, ведущие к оздоровлению окружающей среды.
Ключевые слова:
Европейский Север, структура экономики региона, загрязнение, природоохранные инвестиции, модернизация.

Pavel V. Druzhinin, Galina T. Shkiperova, Olga V. Potasheva
Institute of Economics of the Karelian Research Centre
of the Russian Academy of Sciences

THE IMPACT OF ECONOMY DEVELOPMENT OF EUROPEAN NORTH REGIONS ON THE ENVIRONMENT

Abstract
The impact of economic development on the environment in the northern regions of the Russian Federation and Finland was studied. Models are created, to explain the improvement of an ecological situation with a economy development. It is shown that the dynamics of ecological indicators in the Northern regions of the Russian Federation and Finland is similar, although the level of pollution per unit of gross regional product varies greatly. It is possible to explain the improvement of ecological indicators with economic growth, to identify the factors leading to the improvement of the environment.
Keywords:
European North, regional economic structure, pollution, environmental investments, modernization.

Введение

Развитие экономики ведет, как правило, к ухудшению состояния окружающей среды: создание новых производств сопровождается увеличением выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, ростом потребления воды и сбросов загрязненных сточных вод. Положительно повлиять на экологические показатели могут инвестиции в модернизацию предприятий, природоохранные инвестиции и изменение структуры экономики, связанное с ростом сферы услуг.

Для исследования эколого-экономических процессов разработаны специальные модели, позволяющие оценить влияние различных факторов, связанных с развитием экономики стран и регионов, на показатели состояния окружающей среды.

В 1990-х гг. была предложена модель STIRPAT, которая позволила разработать методики оценки влияния различных факторов, характеризующих развитие экономики стран и регионов [Dietz, Rosa, 1994]. Первоначально выделялись степень развития экономики, численность населения и технологический уровень, причем степень развития экономики характеризовалась величиной валового внутреннего продукта (ВВП) на душу населения. В дальнейшем анализировались новые экономические факторы, влияние урбанизации и изменения структуры экономики — доли промышленности, сельского хозяйства, сферы услуг и других отраслей [York et al., 2003; Cole, Neumayer, 2004; Roca, Serrano, 2007]. Выбросы в атмосферу также связаны с потреблением энергии, которое зависит от уровня урбанизации, дохода на душу населения и доли сферы услуг. Соответственно, существует зависимость выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от энергоемкости экономики. В отдельных работах было показано, что объяснить изменение выбросов только за счет роста доходов, структурных

и технологических различий стран невозможно, существенно влияют также другие факторы, в частности, разный уровень цен в топливной и энергетической промышленности [Laureti et al., 2014; Xu, Lin, 2015].

Климатические изменения последних десятилетий привели к тому, что основное внимание уделяется влиянию развития экономики на выбросы парниковых газов, материалам по другим газам и загрязнению воды значительно меньше [He, Richard, 2010; Martínez-Zarzoso, Maruotti, 2011; Xu, Lin, 2015]. Исследований по региональным и муниципальным данным немного, в основном они проводились по странам, по панельным данным за несколько десятилетий. Надо отметить, что полученные разными авторами оценки влияния одного и того же показателя значительно различаются, поскольку в один набор панельных данных часто включались страны с различным уровнем развития экономики, заметно отличающейся ее структурой и другими особенностями. Правильнее было бы одновременно рассматривать страны, близкие по экономическим характеристикам.

Кроме модели STIRPAT использовались и другие подходы, строились балансовые модели и уравнения, описывающие экологическую кривую Кузнеца (ЭКК). В соответствии с ЭКК при росте объемов производства до определенного момента растут и выбросы, затем они снижаются, несмотря на продолжающийся рост производства. На примере канадских данных анализ соответствия взаимосвязи ВВП и выбросов загрязняющих веществ на душу населения для ЭКК проводился с использованием полупараметрических и гибких методов нелинейного параметрического моделирования [He, Richard, 2010]. Исследования в европейских странах показали, что ужесточение экологической политики в ЕС привело к тому, что гипотеза об ЭКК выполняется теперь для большинства загрязняющих веществ, это связано с модернизацией экономики и структурными сдвигами [Roca, Serrano, 2007]. Самая сложная ситуация — с парниковыми газами: добиться снижения их выбросов не удается даже во многих развитых странах.

Использование муниципальных данных требует более тщательного анализа, их точность часто невысока, и они могут сильно варьировать. Требуются более сложные методы и многократная проверка результатов. Среди исследований по муниципалитетам надо выделить работу на основе данных Мадрида, в которой проанализированы выбросы отдельных газов, включающих азот, и показана важность влияния транспорта и необходимость снижения выбросов от него [Laureti et al., 2014]. Использование модели STIRPAT для графств юго-востока США показало, что из экономических факторов на выбросы углекислого газа первую очередь влияют численность населения и доходы домохозяйств [Roberts, 2011].

Во многих работах по разным странам выявлено, что влияние фактора роста численности населения значительно [Cole, Neumayer, 2004]. На китайских региональных временных данных также показано влияние роста численности населения и его благосостояния на загрязнение окружающей среды [Analysis..., 2009]. Модель STIRPAT иллюстрирует существенное влияние ВВП на душу населения, квадрата ВВП на душу населения и доли городского населения. Расчеты для провинции Хэнань не подтвердили, что связь экономического роста и загрязнений описывается ЭКК [Analysis..., 2009].

В ряде случаев необходимо отдельно рассматривать городское и сельское население [Research…, 2015]. Влияние роста численности населения в городах и сельской местности может разнонаправленно влиять на динамику загрязнений

[Wang, Yang, 2015]. Исследования влияния развития отдельных отраслей на окружающую среду выявили необходимость учета их особенностей. Например, при анализе китайских данных было показано, что для сельского хозяйства надо учитывать структуру питания, а для транспорта — потребление энергии на единицу производства [Driving..., 2014; Xu, Lin, 2015].

В России отсутствует доступная информация о парниковых газах в региональном разрезе, есть лишь данные по стране в целом, которые время от времени уточняются за истекший период. Исследований по анализу влияния развития экономики на выбросы парниковых газов немного, сходная ситуация и в других странах бывшего СССР. Например, в Республике Беларусь проводили анализ динамики выбросов парниковых газов без учета влияющих на нее факторов, но с оценкой возможной выгоды страны от участия в реализации Киотского протокола [Шимова, Данькова, 2006]. Для Украины влияние развития экономики на окружающую среду исследовали через расширение модели Леонтьева «затраты — выпуск», в которую вводили дополнительный вид продукции — парниковые газы и новую отрасль экономики — ликвидацию загрязнений [Tadeyev, 2012].

Экологическая политика в РФ в последние десятилетия заметно менялась, что приводило к изменению тенденций экологических показателей, большинство которых после снижения в 1990-х гг. стало медленно расти [Замятина, 2016].

В РФ предлагали модели регулирования выбросов парниковых газов и рассматривали различные механизмы, например, через введение цены на единицу установленного количества выбросов CO_2, связанной с объемом продаж и учитывающей ценность данного товара для потребителя [Коробова, 2014; Башмаков, 2017]. Проводили анализ путей расчета общественных издержек, обусловленных выбросами парниковых газов, с представлением некоторых неочевидных следствий расчета этих издержек для экономической политики, анализировали динамику показателей энерго- и углеродоемкости ВВП, определяющих объемы выбросов парниковых газов [Пахомова и др., 2015].

Кроме того, надо принимать во внимание и другие факторы, в частности, природоохранную деятельность, влияние которой анализируется лишь в нескольких работах. Необходимо строить модели с учетом инвестиций, динамика которых определяет будущее развитие экономики, это позволит более обоснованно оценивать влияние развития экономики на окружающую среду. Для прогнозных моделей именно использование инвестиций и их структуры позволяет рассматривать разные сценарии развития, анализировать последствия для окружающей среды различных вариантов экономической политики. В связи с этим нами был предложен новый подход для оценки влияния развития экономики на окружающую среду [Филатов и др., 2011; Дружинин и др., 2014].

Материалы и методы

Для оценки влияния развития экономики на окружающую среду были предложены функции загрязнения, связывающие экономические и экологические показатели. Они позволяют анализировать различные варианты распределения инвестиций, оценивать влияние изменения структуры экономики и учитывать влияние экологической политики на основе динамики инвестиций и затрат, связанных с охраной окружающей среды. На основе предложенных функций загрязнения мы провели расчеты по различным регионам РФ и отдельным странам [Филатов и др., 2011; Дружинин и др., 2014].

Сложившиеся тенденции нарушаются при экономических кризисах. После окончания кризиса весьма вероятно сформируется новая тенденция и возникнут новые параметры модели. Существенное влияние может оказать и изменение законодательства. Для учета влияния внешних«шоков» были предложены сплайн-функции на основе функций загрязнения. При выделении двух периодов в каждом из них могут быть свои параметры:

$$E(t) = A_1 \times A_2 \times X_{11}^{\mu_1}(t) \times X_{12}^{\mu_2}(t) \times X_{21}^{-\eta_1}(t) \times X_{22}^{-\eta_2}(t) \times X_{31}^{\nu_1}(t) \times X_{32}^{\nu_2}(t) \times X_4^{\lambda}(t), \quad (1)$$

где $E(t)$ — исследуемый экологический показатель (в статье — удельные выбросы загрязняющих веществ на единицу ВВП); $X_1(t)$ — фактор, отражающий развитие экономики и, как правило, отрицательно влияющий на окружающую среду (например, инвестиции в экономику, доля промышленности); $X_2(t)$ — фактор, отражающий природоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды); $X_3(t)$ — фактор, отражающий модернизацию экономики, может влиять на окружающую среду и положительно, и отрицательно в зависимости от осуществляемой эколого-экономической политики (рост производительности труда, инвестиции в машины и оборудование); μ, η, v — постоянные параметры (факторные эластичности); t — год; A_1, $X_{11}(t)$, $X_{21}(t)$, $X_{31}(t)$ равны единице во втором периоде, A_2, $X_{12}(t)$, $X_{22}(t)$, $X_{32}(t)$ равны единице в первом периоде; $X_4(t) = \exp(p*t)$ — показатель, отражающий структурные сдвиги.

Часть расчетов проводили по неполной формуле: если полученные параметры по одному из показателей оказывались близкими, то для него рассматривали не два ряда, а один общий. Использовали стандартные пакеты Statistica 13.3.

Оценка параметров модели существенно зависит от того, насколько точно были выделены периоды, в которых взаимосвязь экологических и экономических показателей неизменна. Для использования этих данных в моделях необходим их тщательный анализ, включая построение графиков для выявления сложившихся тенденций и моментов их изменения, поиска зависимостей между показателями и определения временных лагов, анализа производных показателей.

Основным источником данных был сайт Федеральной службы государственной статистики, сайты региональных подразделений[1] и статистические справочники [Регионы России, 2018].

Для проведения расчетов использовали следующие показатели: динамика валового регионального продукта (ВРП), отраслей, производительности труда, кумулятивных инвестиций за 5 лет в экономику, в машины и оборудование, в охрану атмосферного воздуха и воды; выбросы загрязняющих веществ в атмосферу за 1990–2017 гг.

Данные по соседней Финляндии были заимствованы с сайта Статистического управления Финляндии[2]. По Финляндии информация о выбросах парниковых газов, оксида углерода CO, диоксида серы, оксидов азота и аммиака доступна начиная с 1990 г.

---

[1] Сайты: Федеральная служба государственной статистики (http://www.gks.ru); Мурманскстат (http://murmanskstat.gks.ru); Комистат (http://komi.gks.ru); Карелиястат (http://krl.gks.ru); Архангельскстат (http://arhangelskstat.gks.ru); Вологдастат (http://vologdastat.gks.ru) (дата обращения: 14.05.2019).

[2] URL: tilastokeskus.fi (дата обращения: 14.05.2019).

Результаты и обсуждение

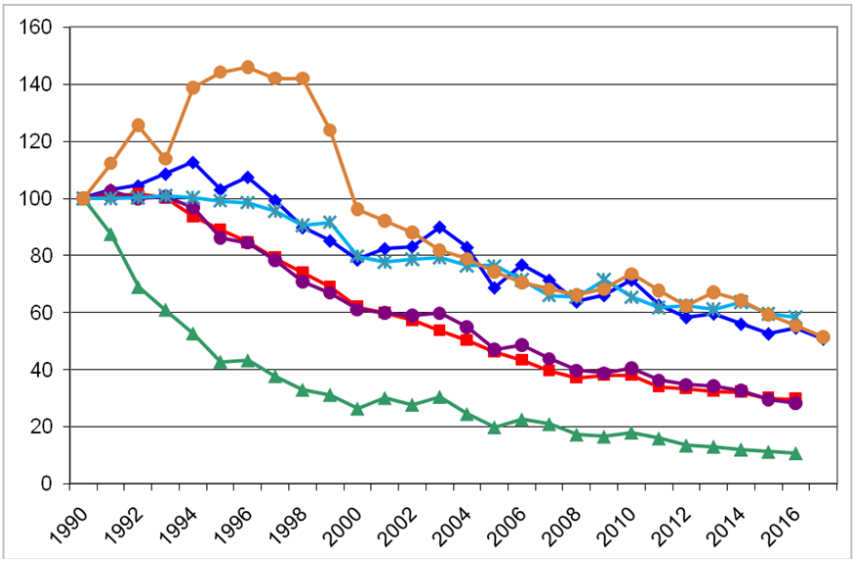
Высокие показатели развития, достигающие за последние годы уровня ВРП 1990 г., имеют лишь два региона из пяти рассмотренных — Архангельская и Вологодская области. Другие регионы Европейского Севера (республики Карелия и Коми, Мурманская обл.) наращивали производство медленно и пока не достигли ВРП уровня 1990 г. Надо отметить, что все рассматриваемые субъекты РФ развивались медленнее, чем страна в целом, в них значительно сократилась численность населения и инвестиции составляют примерно 50 % к уровню 1990 г. Но эффективность их экономики росла, лишь во время кризиса 2008–2009 гг. производительность труда в промышленности немного снизилась, сейчас она в 2,5–3,5 раза выше, чем в 1995 г.

Структура экономики этих субъектов Федерации выстроена таким образом, что основным источником высоких выбросов в атмосферу являются энергетика, металлургическая и целлюлозно-бумажная промышленность. Развитие технологий способствовало уменьшению загрязнений. За последнюю четверть века выбросы в атмосферу снизились в пяти рассмотренных нами регионах: Мурманская обл. — более чем в 3 раза, Республика Коми — на треть. Высокие выбросы в атмосферу приходятся на Череповец (в 3 раза больше, чем в Карелии), Воркуту, Усинск, Костомукшу и Печенгу, эти населенные пункты дают почти половину всех атмосферных выбросов загрязняющих веществ на Европейском Севере.

Анализ динамики загрязнений логичнее проводить по Европейскому Северу в целом, это позволит увидеть существующие тенденции их изменения. При падении ВРП с 1991 до 1998 гг. уменьшались объемы загрязнений. С 1999 г. начался экономический рост, но выбросы загрязняющих веществ в атмосферу продолжили снижаться. Потребление свежей воды выросло в 1999 г., но стало уменьшаться со следующего года. Сброс загрязненных сточных вод начал падать еще через год. Фактически рост экономики с 2000 г. происходил при уменьшении нагрузки на окружающую среду. В значительной степени это связано с ростом инвестиций в экономику макрорегиона, способствовавших модернизации предприятий, смене структуры экономики, строительству новых производств при более жестких экологических требованиях.

Для сравнения рассмотрим эколого-экономические процессы в Финляндии, которая вступила в Европейский союз в 1995 г., когда в нем действовала пятая программа мероприятий в области защиты окружающей среды «в направлении устойчивости» и Финляндия последовательно ужесточала экологические требования в соответствии с решениями ЕС. После выхода Финляндии из кризиса 1991–1993 гг., вызванного потерей «восточного» рынка в результате распада СССР, выбросы загрязняющих веществ в стране медленно снижались при росте ВВП, соотношение выбросов к ВВП почти непрерывно уменьшалось, за исключением начала 2000-х гг. Динамика экологических показателей Финляндии и на Европейском Севере РФ близка с 2000 г., хотя уровень загрязнений на единицу ВРП сильно разнится, поскольку до 1999 г. при спаде производства в российских регионах выбросы снижались значительно медленнее (рис.).

Ситуация в российских регионах заметно различается, экологические показатели сильно колеблются. Например, в Карелии после кризиса 2008–2009 г. и рост ВРП был небольшим, и выбросы SO_2 перестали снижаться.



Динамика отношения атмосферных выбросов загрязняющих веществ на Европейском Севере РФ (оранжевая линия) и в Финляндии (синяя линия — парниковые газы, красная — CO, фиолетовая — оксиды азота, зеленая — диоксид серы, голубая — аммиак; % по отношению к 1990 г.)

Для Европейского Севера рассматривали два периода: 1991–1997 и 1998–2017 гг. (табл. 1). Анализ взаимосвязи между объемом выбросов в атмосферу и уровнем ВРП регионов Европейского Севера показал, что в первом периоде рост исследуемого показателя происходил за счет отрицательных структурных сдвигов, наиболее конкурентоспособными оказались отрасли с наибольшими выбросами загрязняющих веществ. Во втором периоде снижение выбросов объяснялось модернизацией экономики, отражаемой ростом производительности труда (v) и инвестициями в охрану атмосферного воздуха, рост которых на 1 % уменьшает выбросы на 0,27 %. Постепенно влияние модернизации растет, а природоохранных инвестиций снижается.

Таблица 1

Результаты расчетов параметров функций (1) для выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на Европейском Севере

η_1	η_2	v_1	v_2	p_1	p_2	Ln A_1	Ln A_2	R^2
0	–0,267*	0	–0,775*	0,044*	0	4,7*	8,12*	0,97

Примечание: $^*p < 0{,}01$.

Влияние факторов до и после кризиса 2008–2009 гг. отличалось, поэтому использовалась сплайн-функция. В табл. 2 приведены результаты расчетов, качестве фактора, отражающего модернизацию экономики, здесь рассматривали динамику инвестиций в машины и оборудование (v), а в качестве структурных сдвигов — долю промышленности в ВВП (μ). Значимым внешним фактором стал кризис 2008–2009 гг., в отличие от внесенных в законодательство изменений. Если

до кризиса определяющее влияние на уменьшение воздействия на окружающую среду имела модернизация экономики, то после кризиса весомым стимулом стали инвестиции в охрану окружающей среды.

Таблица 2

Результаты расчетов параметров функций
для выбросов загрязняющих веществ в Финляндии

Загрязнитель	μ_1	μ_2	η_1	η_2	ν_1	ν_2	$\mathrm{Ln}A_1$	$\mathrm{Ln}A_2$	R^2
Парниковые газы	0,875*		0	0,543*	–0,540*	0	3,94		0,92
CO	0,875*	0	0	1,11*	–0,6*	0	6,27		0,97
Оксиды серы	1,894*	0	0	1,342*	0	0	–2,64	9,18	0,93
Оксиды азота	0,979*	0,801*	0	0,536*	–0,185*	0	1,93		0,96

Примечание: $^*p < 0{,}01$.

Подсчет объемов сброса загрязненных вод также продемонстрировал, что изменение законодательства слабо влияет на экологические показатели, а вот экономические кризисы могут значительно изменить их динамику. Согласно графикам и итогам расчетов, точки бифуркации связаны только с экономическими кризисами. По канадским данным, также лишь отдельные «шоки» приводят к положительным изменениям, в частности, нефтяной шок 1970-х гг. оказал прогрессивное влияние на внедрение менее загрязняющих технологий и производства [He, Richard, 2010].

Таким образом, проведенное исследование позволило объяснить улучшение экологических показателей при росте экономики, выявить факторы, ведущие к оздоровлению окружающей среды, оценить влияние роста, структурных сдвигов и модернизации экономики.

Заключение

Динамика экологических показателей в России и Финляндии близка, хотя уровень загрязнений на единицу ВВП сильно разнится. Факторы, определяющие динамику загрязнений, совпадают, но степень их влияния заметно отличается.

С конца 1990-х гг. стали быстро расти инвестиции в российскую экономику в целом и ее модернизацию в частности. В результате ускорения модернизации в 1999–2008 гг. наблюдался высокий рост производительности труда (особенно в сфере услуг), влияние структурных сдвигов было значительным в 1990-х гг., затем оно начало быстро уменьшаться. С 2009 г. рост производительности труда в РФ замедлился, наиболее быстро она увеличивалась в добыче полезных ископаемых, сельском хозяйстве и рыболовстве. Две из этих отраслей составляют значительную часть экономики Севера, поэтому падение роста производительности труда для северных регионов было незначительным. Развитие экономики с конца 1990-х гг. осуществлялось фактически на новой технологической основе, с модернизацией действующих предприятий. Новые же предприятия строились по современным технологиям, структура экономики смещалась в сторону сферы услуг. Изменение технологий приводило к снижению воздействия на окружающую среду.

Показано, что воздействие на окружающую среду на Европейском Севере России в 1990-е гг. уменьшалось в основном за счет спада экономики, но отношение выбросов к ВРП росло по причине отрицательного влияния структурных сдвигов. С начала XXI в. снижение выбросов в России, как и в Финляндии, определяется модернизацией экономики.

Анализ данных по северным регионам РФ показал, что на динамику выбросов большинства загрязняющих веществ основное влияние оказали изменения экономической политики. Экологическое законодательство менялось слабо, но в будущем оно, возможно, будет оказывать более заметное влияние.

По итогам исследования следует заключить, что предложенные функции учитывают влияние факторов, связанных с развитием экономики и изменением ее структуры, на экологические показатели. Их использование позволяет оценить влияние факторов в ретроспективе, построить прогнозы экономического развития на перспективу и выявить пути снижения нагрузки на окружающую среду через стимулирование инвестиционной и структурной политики в определенных направлениях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 17-02-00449-ОГН «Исследование влияния развития экономики российских регионов на окружающую среду».

Литература

Башмаков И. А. Прогнозы антропогенных выбросов парниковых газов в Российской Федерации до 2030 года и на перспективу до 2050 года // Экологический вестник России. 2017. № 7. С. 20–27.

Дружинин П. В., Морошкина М. В., Шкиперова Г. Т. Модели эколого-экономических процессов — оптимизационный подход // Вестник Пермского университета. Экономика. 2014. Вып. 2 (21). С. 15–23.

Замятина М. Ф. Экологизация промышленной политики как фактор регионального развития // Стратегии бизнеса. 2016. № 4. С. 6–9.

Коробова О. С. К вопросу о применении экономических механизмов регулирования выбросов парниковых газов в России // Горн. информ.-аналит. бюлл. (науч.-техн.журн.). 2014. №. S. С. 225–227.

Моделирование социо-эколого-экономической системы региона / под ред. В. И. Гурмана, Е. В. Рюминой. М.: Наука, 2001. 175 с.

Пахомова Н. В., Малова А. С., Титов В. О. Эффективность экономики, экологические инновации, климатическая и энергетическая политика: темы дискуссий на международном семинаре в СПбГУ // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2015. № 4. С. 161–172.

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2017. М.: Росстат, 2017. 1402 с.

Сайт Статистического управления Финляндии. URL:tilastokeskus.fi (дата обращения: 14.05.2019).

Филатов Н. Н., Дружинин П. В., Тержевик А. Ю. Беломорье — регион для решения актуальных проблем Арктики // Арктика. Экология и экономика. 2011. № 2. С. 90–101.

Шимова О. С., Данькова Н. В. Рыночные механизмы решения глобальной экономической проблемы // Белорусский экономический журнал. 2006. № 3. С. 4–14.

Analysis of the major drivers of the ecological footprint using the STIRPAT model and the PLS method-A case study in Henan Province, China / J. Jia [et al.] // Ecological Economics. 2009. Vol. 68. P. 2818–2824.

Cole M. A., Neumayer E. Examining the impact of demographic factors on air pollution // Population and Development Review. 2004. Vol. 2 (1). P. 5–21.

Dietz T., Rosa E. A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence, and technology // Human Ecology Review. 1994. Vol. 1. P. 277–300.

Driving force analysis of water footprint change based on extended STIRPAT model: Evidence from the Chinese agricultural sector / C. Zhao [et al.] // Ecological Indicators. 2014. Vol. 47. P. 43–49.

He J., Richard P. Environmental Kuznets curve for CO_2 in Canada // Ecological Economics. 2010. Vol. 69. P. 1083–1093.

Laureti T., Montero J., Fernandez-Aviles G. A local scale analysis on influencing factors of NO*x* emissions: Evidence from the Community of Madrid, Spain // Energy Policy. 2014. Vol. 74. P. 557–568.

Martínez-Zarzoso I., Maruotti A. The impact of urbanization on CO_2 emissions: Evidence from developing countries // Ecological Economics. 2011. Vol. 70. P. 1344–1353.

Research on Rural Nonpoint Source Pollution in the Process of Urban-Rural Integration in the Economically-Developed Area in China Based on the Improved STIRPAT Model / H. Dai [et al.] // Sustainability. 2015. Vol. 7. P. 782–793.

Roberts T. Applying the STIRPAT model in a post-Fordist landscape: Can a traditional econometric model work at the local level? // Applied Geography. 2011. Vol. 31. P. 731–739.

Roca J., Serrano M. Income growth and atmospheric pollution in Spain: An input-output approach // Ecological Economics. 2007. Vol. 63. P. 230–242.

Tadeyev Y. P. The Leontief's model extension in the conditions of ecological balance // Бизнес-информ. 2012. No. 4. P. 132–136.

Wang Z., Yang L. Indirect carbon emissions in household consumption: evidence from the urban and rural area in China // J. Cleaner Production. 2014. Vol. 78. P. 94–103.

Xu B., Lin B. Carbon dioxide emissions reduction in China's transport sector: A dynamic VAR (vector autoregression) approach // Energy. 2015. Vol. 83. P. 486–495.

York R., Rosa E. A., Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts // Ecological Economics. 2003. Vol. 46 (3). P. 351–365.

Сведения об авторах

Дружинин Павел Васильевич
доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела моделирования и прогнозирования регионального развития, Институт экономики ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: pdruzhinin@mail.ru
Шкиперова Галина Тимофеевна
кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Институт экономики ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: shkiperova@mail.ru

Поташева Ольга Вячеславовна
кандидат экономических наук, научный сотрудник, Институт экономики
ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: ovpotash79@gmail.com

Pavel V. Druzhinin
Dr Sci. (Economics), Institute of Economics, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk; e-mail: pdruzhinin@mail.ru
Galina T. Shkiperova
PhD (Economics), Institute of Economics, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk; e-mail: shkiperova@mail.ru
OlgaV. Potasheva
PhD (Economics), Institute of Economics, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk; e-mail: ovpotash79@gmail.com

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.017
УДК 630.6 (332.14)

Г. Н. Харитонова
Институт экономических проблем им. Г. П. Лузина
ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук»

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ В РАЙОНАХ АЗРФ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Аннотация

Анализируются эффективность современного государственного лесопользования в субъектах на территории Арктической зоны РФ и новации лесного законодательства в среднесрочной перспективе. В качестве показателей экологической эффективности использованы целевые показатели федеральной программы «Сохранение лесов» национального проекта «Экология» и государственной программы «Развитие лесного хозяйства Российской Федерации на 2013–2024 годы». Предлагаются меры по совершенствованию всех уровней лесопользования для регионов Северо-Запада России, входящих в АЗРФ.

Ключевые слова:
лесной комплекс, государственное управление, экологическая и экономическая эффективность, Арктическая зона РФ.

Galina N. Kharitonova
Institute for Economic Studies of the Federal Research Centre
«Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences»

STATE MANAGEMENT OF FORESTS OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY

Abstract

Analyzes the effectiveness of modern state forest management in the Arctic territories of Russia and the innovations of forest legislation in the medium term. Target indicators of the national project “Ecology” —“Forest conservation” and targets of the State program “Development of forestry of the Russian Federation for 2013–2024” were used as indicators of environmental efficiency. Measures are being proposed to improve all levels of forest management for the regions of the North-West of Russia belonging to the Arctic zone.

Keywords:
forest complex, state administration, environmental and economic performance, Arctic zone of the RF.

Введение

Управление использованием и воспроизводством лесных ресурсов, независимо от собственности на них, во всех странах мира является прерогативой государства. Необходимость государственного управления всегда обусловлена потребностями в продукции леса для населения (топливо, изготовление мебели и предметов домашнего обихода), отраслей экономики (строительство, авиа- и судостроение, производство бумаги, мебели, тканей и др.) и отраслей обеспечения обороны и безопасности государства.

Лесопользование приносит доход собственникам, арендаторам лесных участков и населению, которое в нашей стране может бесплатно осуществлять сбор дикорастущих ягод, грибов, лекарственных растений и др. В связи с неравномерным распределением лесных ресурсов их экспорт из стран, богатых лесами, является высокодоходным. Экономическая ценность леса складывается также из продукции и доходов охотничьих ресурсов.

Продукция леса необычайно разнообразна — от различных видов древесины до многочисленных дикорастущих пищевых ресурсов, включая плоды, ягоды, орехи, грибы, семена, березовый сок и лекарственные растения. В некоторых лесах находятся уникальные, нигде больше не встречающиеся растения и животные, которые сегодня используются как дорогостоящее сырье в различных отраслях промышленности.

Потребность в продукции леса постоянно растет. Возрождаются старые технологии использования древесины и недревесных ресурсов леса. Например, в Республике Карелия несколько фирм наладили продажу так называемой «суховатки», то есть естественным образом высохших деревьев, которые меньше подвержены гниению и поэтому широко использовались нашими предками для строительства. В последние годы популярным товаром стали северные ягоды (голубика, княженика, водяника) и забытые рецепты их приготовления.

Экологическая чистота древесины и недревесных ресурсов леса играет важную роль в повышении спроса на продукцию лесного комплекса. Например, в нашей стране в последние годы быстро развивается отрасль по строительству деревянных дачных домов, гостиниц и придорожной инфраструктуры.

Право собственности на древесину, которая получена при использовании лесов, расположенных на землях лесного фонда, принадлежит федеральному правительству. Продавцом древесины является Федеральное агентство по управлению государственным имуществом. В связи с этим стимулирование рационального лесопользования и воспроизводства лесов является стратегией государственного управления лесным комплексом, которая четко отражена в новом документе стратегического планирования — «Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года» [О Стратегии развития…, 2018].

Лесной комплекс страны состоит из лесного хозяйства и лесной промышленности. Его целевое назначение формулируется так: «осуществляет систему мероприятий в целях удовлетворения потребностей экономики в древесине и другой лесной продукции при сохранении экологических и социальных функций леса» [О Стратегии развития…, 2018; О внесении изменений в Постановление…, 2019б]. Очевидно, что удовлетворение потребностей экономики, то есть получение экономической выгоды от лесопользования, является приоритетным для лесного комплекса.

Цели государственного управления лесным комплексом были сформулированы в «Основах государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в РФ на период до 2030 года» [2013].

Нетрудно заметить, что задачи и показатели федерального проекта «Сохранение лесов» национального проекта «Экология» соответствуют задачам «Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года» и критериям государственной программы «Развитие лесного хозяйства РФ до 2024 года» и не превышают эти показатели в период реализации национального проекта.

Развитие концепции экосистемных услуг позволило расширить представление о выгодах, которые экономика и население получают от леса, то есть выгоды от леса как от экосистемы [Экосистемы…, 2005; Бобылев, Захаров, 2009; Литвинова, Игнатьева и др., 2016].

В «Основах государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в РФ на период до 2030 года» появилась формулировка, которая свидетельствует о признании важности вклада глобальных функций лесов в повышение эффективности их использования, охраны и воспроизводства: поставлена задача по «созданию условий для ведения интенсивного лесного хозяйства при сохранении их экологических функций» [Основы…, 2013].

В настоящее время экономической наукой решаются задачи по разработке методик определения стоимостной оценки экосистемных услуг разных экосистем. Некоторые оценки экосистемных услуг лесов уже получены [Бобылев, Захаров, 2013; Логинов, Лыков, 2018], однако с учетом разнообразия лесов наблюдаемое на практике использование экономических оценок экосистемных услуг, полученных для конкретной лесной экосистемы и экологической обстановки, некорректно применять для развития системы платежей за экосистемные услуги других экосистем и компенсаций за них.

Вследствие этого органы управления лесопользованием в настоящее время еще не имеют достаточных данных об экономической оценке лесных экосистемных услуг, они не могут учитывать их величину при принятии управленческих решений. Приходится констатировать, что величина экономической выгоды от использования лесных ресурсов занижается и это отрицательно сказывается прежде всего на деятельности отрасли по их воспроизводству.

Задача по обеспечению одновременно и интенсивного использования, и интенсивного воспроизводства лесов является противоречивой и чрезвычайно сложной по многим причинам. Выбор в пользу экономической эффективности приходится делать не только среди многочисленных фирм-претендентов на заготовку древесины, но и среди различных видов лесопользования, которых в Лесном кодексе РФ насчитывается 16, и многие из них в некоторых лесных районах еще не получили развития [Лесной кодекс…, 2006]. Например, в Мурманскую обл. новогодние ели и сосны завозят из Тамбовской и из других южнее расположенных районов страны, так как не созданы условия для покупки деревьев местными фирмами у лесхозов и лесничеств.

Наиболее сложной и длительной остается процедура перевода земельных участков из категории «земли лесного фонда» в другие категории земель, которую осуществляет Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) после согласования с Рослесхозом. К ней

прибегают в связи с реализацией инвестиционных проектов горнопромышленного и топливно-энергетического комплексов, транспортного строительства, создания особо охраняемых природных территорий и др.

Цель нашего исследования состояла в анализе управления лесным хозяйством в районах АЗРФ в свете ожидаемых изменений в лесной политике, направления которой закреплены в последних нормативно-правовых документах, включая федеральный проект «Сохранение лесов» национального проекта «Экология».

Анализ эффективности управления лесным хозяйством в районах АЗРФ

Действующая модель государственного управления лесами отражает уровень развития рыночных и федеративных отношений в нашей стране. Она формировалась в ходе реформ государственного управления и государственного строительства в течение 28 лет новейшей истории страны. С принятием нового Лесного кодекса РФ процесс совершенствования управления лесопользованием резко ускорился, так как федеральный регулятор наметил своей целью добиться «устойчивого лесоуправления», под которым в «Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года» понимается «повышение эффективности государственного управления лесами для гарантированного обеспечения экономики и общества лесными ресурсами, в том числе через интенсивное использование и воспроизводство лесов» [О Стратегии развития…, 2018].

Фактически ежегодно вносятся изменения в действующее законодательство, как в лесное, так и в сопряженное с ним. Более того, Общественный совет при Рослесхозе в апреле 2019 г. принял решение сформировать пакет предложений для разработки концепции нового Лесного кодекса РФ, вероятно, выполняя и Резолюцию Лесного форума 2017 г. [Резолюция…, 2018]. Например, установление «зон контроля за лесными пожарами», которые сегодня подвергаются критике в связи с масштабными природными пожарами в Сибири, было введено только в 2015 г. малозаметным для общественности приказом Минприроды России «О внесении изменений в правила тушения лесных пожаров…» [2015].

По нашему мнению, решение об установлении зон контроля за лесными пожарами соответствует экономическим возможностям государства, то есть является экономически целесообразным. В некоторых субъектах, например в Мурманской обл., эти зоны пока не установлены. Невиданная по масштабам кампания по тушению пожаров в сибирских регионах, в т. ч. и в зонах контроля, является откликом на политизацию события, которое получило огласку во всем мире. Под град критики попали и власти субъектов Федерации, которых осуждают за бездействие и недостаточные меры по предупреждению пожаров.

Между тем существующая модель государственного управления лесами во многом и является первопричиной как лесных пожаров вдали от границ зон контроля, так и других проблем в лесном хозяйстве страны. Основные ее черты сегодня следующие. Во-первых, совместное ведение лесами, то есть их правовое регулирование, входит в компетенцию органов государственной власти и Федерации, и ее субъектов, что означает разделение между ними и доходов от использования лесов, и полномочий по их сохранению. Во-вторых, в связи с сохраняющимся делением земель России на категории по целевому назначению все земли категории «лесной фонд» находятся в федеральной собственности, а в собственности субъектов Федерации и муниципалитетов могут находиться только леса, расположенные на землях других категорий.

Особенностью северных субъектов Федерации и муниципалитетов является преобладание «земель лесного фонда» над другими категориями. Например, в Мурманской и Архангельской областях доля лесного фонда составляет по 94,3 % от общей площади лесов, в Республике Карелия — 97,3 %. Отсюда следует, что в сложившейся двухуровневой системе государственного управления лесами основная роль и полномочия принадлежат федеральным органам власти [Лесной кодекс…, 2006]. Начиная с 2006 г. часть полномочий по сохранению лесов была делегирована органам власти субъектов Федерации. Контроль расходования федеральных средств ужесточился до такой степени, что высшее должностное лицо субъекта Федерации не может без разрешения Рослесхоза назначить чиновника на должность соответствующего регионального органа исполнительной власти [Харитонова, 2015]. Несмотря на это, органы государственной власти субъектов Федерации, уполномоченные в области лесных отношений, при исполнении указанных полномочий из года в год допускают нарушения требований законодательства. Основными выявленными в ходе проверок Рослесхоза в 2018 г. нарушениями являются [Оценка эффективности…, 2020]:

- использование лесных участков без проекта освоения лесов;
- несоответствие планируемых лесозащитных работ санитарной и лесопатологической ситуации;
- недоимка по платежам в федеральный бюджет средств за использование лесов;
- ведение государственного лесного реестра с нарушением установленных требований и др.

Порядок распределения субвенций из федерального бюджета в региональные бюджеты для осуществления переданных полномочий был принят в 2007 г. Изменения в него вносились 11 раз, однако не способствовали решению проблемы обеспечения субъектов Федерации лесохозяйственной техникой и оборудованием, необходимым для патрулирования лесов, а также пожарной техникой и противопожарным снаряжением и инвентарем.

Новый порядок распределения субвенций из федерального бюджета принят в феврале 2019 г. и дополнен субсидиями на оснащение лесного хозяйства субъекта Федерации необходимой техникой [О внесении изменений в Методику…, 2019]. В нем установлены:

- коэффициент, отражающий влияние численности проживающего на территории субъекта населения на возникновение лесных пожаров;
- коэффициент численности государственных лесных инспекторов, обеспеченных техникой и оборудованием, необходимых для патрулирования лесов.

Для лесов северных регионов первый коэффициент примерно в 2 раза меньше, чем в Бурятии или Забайкальском крае, второй — ниже (3 против 4), чем в центральных районах страны и на Кавказе. Поэтому весьма вероятно, что субвенции на мероприятия по лесовосстановлению и приобретению пожарной и лесохозяйственной техники будут незначительными по величине и для их получения сначала потребуется представить проекты их закупки и применения для предотвращения неэффективного использования и омертвления бюджетных средств.

Важной особенностью управления северными лесами является то, что они находятся в двух зонах. Профессор А. В. Евсеев причисляет к зонам притундровых лесов и редкостойной тайги в Мурманской обл. 2598,2 тыс. га, включая

Зашейковское и Мончегорское лесничества [Евсеев, Красовская, 2012]. В приказе Рослесхоза «Об установлении возрастов рубок» [2015] перечислены все субъекты Федерации и их муниципальные районы, на территории которых имеются притундровые леса. Лишь для некоторых муниципалитетов границы лесов указаны в документе с координатами или с описанием, но для большинства притундровых лесов координаты и описание отсутствуют. Поэтому следует согласиться с мнением профессора В. Ф. Цветкова о том, что территория и границы притундровых лесов в России до сих пор «достоверно не определены» [Цветков, Семенов, 2012]. В связи с этим с высокой степенью вероятности можно ожидать нарушения особого режима притундровых лесов во время санитарных рубок.

В настоящее время притундровые леса подвергаются высокой антропогенной нагрузке, которая только усилится при реализации государственной стратегии по социально-экономическому развитию российской Арктики.

Лесничества сопротивляются переводу лесных земель в сельскохозяйственные, потому что теряют арендаторов и платежи за использование лесных земель. Напротив, администрации муниципалитетов, в которых проживают малые народы Севера, заинтересованы в этом переводе, так как за использование части родовых оленьих пастбищ, например в Ханты-Мансийском автономном округе, добывающие компании уже сегодня платят их представителям.

Притундровые леса выполняют важные защитные и климаторегулирующие функции и поэтому относятся к ценным лесам, которые, в свою очередь, входят в состав защитных лесов. Для последних установлен особый правовой режим использования, охраны, защиты и воспроизводства. Категории защитности лесов и особый правовой режим использования и охраны для каждой категории впервые были определены федеральным законом, в котором, например, выделена категория «ценных лесов» [О внесении изменений в Лесной кодекс…, 2018б].

Важность исполнения этого закона на практике трудно переоценить для АЗРФ, где, по причине наличия притундровых лесов, доля защитных лесов сравнительно выше и они более уязвимы. Например, из общей площади земель лесного фонда Мурманской обл. защитными лесами занято около 60 %. Такая ситуация наблюдается в большинстве муниципалитетов Арктической зоны России. Следует отметить, что в районах Арктики и Субарктики создано много рыбоохранных зон и для их защиты установлены нерестоохранные полосы лесов, в которых наблюдаются постоянные нарушения режима использования как браконьерами, так и туристами.

Значительную долю в составе защитных лесов составляют леса особо охраняемых природных территорий (ООПТ), и их площадь в перспективе будет увеличиваться. В рамках федерального проекта «Сохранение биоразнообразия и развитие экотуризма» национального проекта «Экология» планируется создать 24 новых ООПТ федерального значения, в том числе 5 в границах Арктической зоны РФ, один из них в Мурманской обл.— национальный парк «Терский берег». В 2018 г. был образован первый на территории Мурманской обл. национальный парк — «Хибины».

В связи с новыми требованиями законодательства использование лесных участков возможно только в соответствии с проектом освоения лесов, который получил положительное заключение государственной экспертизы. Министерством природных ресурсов и экологии Мурманской обл. только за 2018 г. было рассмотрено 240 проектов освоения лесов, из них 53 получили отрицательные заключения.

Следует остановиться на такой актуальной проблеме управления лесопользованием, как коррупция чиновников, которая неизбежна во всех сферах использования высокодоходных или редких природных ресурсов. В районах Арктики и Субарктики она усугубляется наличием на лесных площадях водоемов с ценными породами рыб, а в лесах — птиц и зверей. По нашему мнению, одной из причин ежегодного невыполнения планов по сбору платежей за использование лесов также является коррупция между арендаторами лесных участков и арендодателями. Например, владельцы рыболовных лагерей платят налог в несколько раз меньший, чем базы отдыха или оздоровительные детские лагеря вблизи населенных пунктов. Основная причина кроется в низкой кадастровой стоимости 1 га защитных лесов в районах Субарктики и Арктики, которая до сих пор определяется по методике, разработанной федеральным регулятором еще в 2000 г. на основе годового расчетного рентного дохода, получаемого в результате их хозяйственного использования [Об утверждении Методики…, 2002].

Предложения по повышению эффективности управления лесным хозяйством в субъектах АЗРФ

В декабре 2018 г., спустя два месяца после утверждения паспортов национальных проектов, были внесены поправки в государственную программу РФ «Развитие лесного хозяйства» [Паспорт…, 2018; О внесении изменений в Постановление… 2019б]. Целью изменений было включение в программу мероприятий по федеральному проекту «Сохранение лесов» национального проекта «Экология» и объемов их финансирования, что, несомненно, будет способствовать их выполнению. Несмотря на то, что прогнозные параметры новой редакции государственной программы рассчитаны без фактических данных за 2018 г. и многие целевые показатели и объемы их финансирования начиная с 2019 г. одинаковы, показатели программы позволяют получить представление об ожидаемых итогах реализации национального проекта, в том числе и в Арктической зоне РФ (табл.).

Важнейшая для оценки эффективности лесопользования составляющая «лесистость» в 2017 г. в целом по России была в 1,22 раза выше, чем в АЗРФ. К концу срока реализации госпрограммы и федерального национального проекта «Сохранение лесов» соотношение показателей не изменится, что можно расценивать как достижение, тогда как в 2015 и 2016 гг. показатель в целом по стране снизился с 46,6 до 46,4 %.

Фактическое соотношение доли площади лесовосстановления к площади вырубленных и погибших лесов не приводится, поэтому темп роста определен по плановым показателям госпрограммы за период с 2019 по 2024 гг.

В целом по стране этот показатель планируется увеличить в 1,55 раза. В АЗРФ темпы будут выше за счет его резкого роста в Ямало-Ненецком АО и в Республике Саха (Якутия). С большой степенью вероятности можно утверждать, что повышение показателя в этих регионах произойдет в результате выполнения добывающими и геологическими компаниями своих обязательств по лесовосстановлению.

Важным критерием роста платежей за лесопользование является «доля площади лесного фонда, переданной в пользование, к общей площади лесного фонда». Самый низкий плановый показатель на 2019 г. установлен в Ямало-Ненецком АО (17,3 %), самый высокий — в Республике Карелия (62,3 %).

Некоторые целевые показатели государственной программы
«Развитие лесного хозяйства Российской Федерации» федерального национального проекта «Сохранение лесов»
по субъектам Российской Федерации в период с 2017 по 2024 гг.

Показатели	Российская Федерация	Арктическая зона РФ	Мурманская обл.	Архангельская обл.	Республика Карелия	Ямало-Ненецкий автономный округ	Республика Коми
1. Лесистость, %	100	100	100	99,8	99,8	100	100
2. Доля площади лесного фонда, переданной в пользование, к общей площади лесного фонда, %	93	104,5	101	101,2	100,4	101	107
3. Отношение площади лесовосстановления к площади вырубленных и погибших лесов, %	155*	196	127	117,6	154	312	125,3
4. Объем платежей в бюджетную систему РФ от использования лесов, %	191	188	201	250	212	193	184
5. Средняя численность должностных лиц*, осуществляющих лесной надзор, на 50 тыс. га земель лесного фонда, чел.	175*	212	160	100	203	300	142

* Темп роста рассчитан по плановым показателям программы за период с 2019 по 2024 гг.

В Мурманской обл. только 30 % лесного фонда передано в пользование. В среднесрочной перспективе показатель использования площади лесного фонда для разных целей в целом по стране снизится почти на 7 %, а по Арктической зоне увеличится на 4,5 %, в основном за счет его роста в Республике Коми, в остальных арктических субъектах РФ он вырастет менее чем на 2 %.

В связи с этим представляются необоснованными планируемые высокие темпы роста объема платежей в бюджетную систему РФ за использование лесов — почти в 2 раза в целом по стране и в 1,88 раза по АЗРФ. В Мурманской обл., где в структуре лесов преобладают защитные леса, объем ежегодных платежей за лесопользование планируется увеличить в 2 раза, а доля лесного фонда, переданного в пользование, вырастет к концу реализации проекта только на 1,1 %. Составители госпрограммы не дают объяснений относительно причин резкого роста объема платежей. По нашему мнению, достичь таких показателей можно следующим образом: увеличить кадастровую стоимость лесных земель, собрать все недоимки прошлых лет и повысить платежи за все виды использования лесов, в том числе за потребительскую рекреацию с населения.

Одной из провозглашенных задач федерального проекта «Сохранение лесов» и госпрограммы развития лесного хозяйства страны является увеличение численности должностных лиц, осуществляющих лесной надзор в расчете на 50 тыс. га земель лесного фонда. Рост данного критерия должен демонстрировать усиление охраны и надзора за сохранением лесов. В государственной программе по субъектам Федерации темпы роста этого показателя резко различаются: в Архангельской обл. он не изменится, в Ямало-Ненецком АО возрастет в 3 раза. В целом по АЗРФ его планируется увеличить в 2 раза. По нашему мнению, постановление Правительства РФ от 23.04.2013 № 366 «Об утверждении перечня должностных лиц, которые осуществляют федеральный государственный лесной надзор…» [2017] делает этот показатель непригодным для межрегиональных сравнений, так как он предназначен выполнять сугубо идеологическую нагрузку. В соответствии с действующей системой утверждения перечня должностных лиц увеличить этот показатель в субъекте Федерации можно за счет нескольких специалистов Министерства природных ресурсов региона, а в лесничествах — за счет инженеров по охране и защите леса (или по лесовосстановлению) и увеличения количества лесничих. При этом на фоне огромных размеров лесного фонда в АЗРФ показатель в расчете на 50 тыс. га фактически не изменится, например, в Мурманской обл. в настоящее время насчитывается 88 должностных лиц, которые осуществляют федеральный государственный лесной надзор: 8 чиновников Министерства природных ресурсов и экологии и 80 лесничих [Лесной план…, 2018].

Предложения об увеличении количества лесничих пока не имеют решения, не разработаны даже методические подходы по расчету нормативов их численности. Поэтому количество лесничеств и участковых лесничеств, а также их работников по-прежнему устанавливаются приказами Рослесхоза на основе интенсивности эксплуатации лесов. По идее, количество проверок должно быть таким, чтобы свести до минимума нарушения лесного законодательства. По данным отчета Министерства природных ресурсов Республики Карелия, «за I полугодие 2019 г. должностными лицами министерства и работниками центральных лесничеств, осуществляющими федеральный государственный лесной надзор, в количестве 647 чел., проведено 4389 патрулирований территории

лесного фонда. За истекший период 2019 г. проведено 18338 мероприятия по контролю в лесах» [Итоги работы..., 2019]. Согласно этому отчету, было проведено 732 проверки в среднем за месяц, или 24 проверки ежедневно; только в январе план проверок был перевыполнен в 1,48 раза. Создается впечатление, что контролеры успешно справляются со своей работой и нет оснований для увеличения их численности.

Особый интерес для оценки последствий реализации федерального проекта «Сохранение лесов» в регионах АЗРФ представляет финансирование его мероприятий из федерального бюджета. В структуре госпрограммы«Развитие лесного хозяйства РФ в период с 2019 по 2024 годы» доля федерального проекта «Сохранение лесов» равняется 16,2 %. Планируемые средства распределены по мероприятиям двух подпрограмм: «Обеспечение использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов» и «Стратегическое управление лесным хозяйством». Арктическая зона РФ, как приоритетный регион, выделена отдельной строкой, и в целом по государственной программе на ее долю приходится 11,1 % средств. Для сравнения: на регионы Дальневосточного федерального округа приходится самая большая доля — 16,5 % от общего объема средств федерального бюджета.

Планируется следующее распределение федеральных бюджетных средств по мероприятиям проекта «Сохранение лесов». Наибольшая доля будет направлена на оснащение органов субъекта Федерации противопожарной техникой как в целом по проекту, так и, например, в Мурманской обл. На увеличение площади лесовосстановления в целом по Арктической зоне планируется потратить 21 % от общего объема ассигнований. В Мурманской обл. на мероприятия по лесовосстановлению и закупке техники для него также предусматривается выделить значительные средства. На формирование необходимого запаса семян для бесперебойного лесопосева планируется выделить более трети федеральных средств, так как его основную массу придется закупать в питомниках.

Следует обратить внимание на планирование показателей и финансирование подпрограммы «Стратегическое управление лесным хозяйством», целью реализации которой является повышение эффективности управления лесами. Для этого придется приложить усилия, чтобы исправить или уменьшить негативное влияние недостатков организации управления лесопользованием:

- отсутствие достоверной информации о количественных и качественных характеристиках лесов;
- низкий уровень лесного планирования;
- несвоевременное выделение средств на выполнение делегированных поручений;
- отсутствие проектного управления и постановки конкретных задач перед научными организациями;
- излишний документооборот и надзор со стороны федерального регулятора и др.

По направлению «Обеспечение стратегического управления лесным хозяйством» в подпрограмме планируется увеличивать ежегодное финансирование в 1,6 раза. Прирост ежегодного финансирования на научное обеспечение реализации программы составит всего 4 %.

Начиная с 2019 г. Рослесхоз планирует выделять ежегодно почти 400 млн руб. на «обеспечение землеустройства и землепользования», вероятно, для выполнения нового постановления Правительства РФ от 07.03.2019 № 244. [О внесении

изменений в Постановление…, 2019а]. Скорее всего, большая часть этих средств будет направлена на финансирование деятельности ФГБУ «Рослесинфорг», которое и сегодня выполняет функции по лесоустройству, инвентаризации лесов, включая лесное планирование и проектирование. «Рослесинфорг» имеет 37 филиалов по всей стране, и, возможно, именно этому учреждению передадут полномочия по лесоустройству, когда ответственность за него будет полностью возложена на федеральный уровень. Осуществление этой меры стоит только приветствовать хотя бы потому, что это позволит разрабатывать проекты освоения и восстановления лесов и «Лесные планы» на единой методической основе и гораздо быстрее.

В настоящее время для составления «Лесного плана» исполнительный орган власти субъекта Федерации привлекает разные организации. Качество этих документов различается по регионам и часто является неудовлетворительным, так как расчеты некоторых показателей не обеспечены научно обоснованными методиками или они устарели, как, например, «Методика экономической оценки лесов» Рослесхоза от 2000 г. Не внушает доверия и важная для определения экономической эффективности лесопользования экономическая оценка средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических и иных полезных функций лесов хотя бы потому, что методика ее выполнения не приводится.

Для экономической оценки экологических функций леса в конкретном регионе требуются исследования, прежде всего биологического блока наук, их финансирование целесообразно включать в региональные программы по охране окружающей среды в регионах, где находятся соответствующие научные учреждения. На федеральном уровне эта задача должна стать приоритетной для ФГБУ «Рослесинфорг».

В Мурманской обл. «Лесной план» разрабатывали трижды, однако последняя редакция составлена на основе целевых показателей госпрограммы «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 гг. с изменениями от 2018 г., то есть без учета целевых показателей федерального проекта «Сохранение лесов» национального проекта «Экология». Поэтому предстоит переработать «Лесной план Мурманской области» на период не только до 2024-го, но и до 2028 г.

Как уже упоминалось, в 2019 г. вступает в силу ряд законов, направленных на совершенствование «Лесного кодекса» и управление лесопользованием.

Для лесопользования в АЗРФ будет иметь значение исполнение Федерального закона «О защитных лесах» в целом и внесение в характеристики ценных лесов или особо защитных участков леса понятия «девственные леса», которые в Республике Коми уже включены в список объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО. Такие леса сохранились и в Мурманской обл., и в Республике Карелия.

Согласно «Методике государственной кадастровой оценки земель лесного фонда РФ», при определении кадастровой стоимости лесных земель в расчет принимается единственный вид лесопользования — заготовка древесины [Об утверждении Методики…, 2002]. В связи с этим кадастровая оценка проводится только для эксплуатационных лесов, а для защитных лесов в северных субъектах она занижается. Целесообразно повысить кадастровую стоимость защитных лесов хотя бы на уровне лесхозов. Первоначально это можно сделать на основе экономической оценки средообразующих, водоохранных, защитных, санитарно-

гигиенических и других полезных функций защитных лесов, которая является обязательной составной частью содержания «Лесного плана» субъекта Федерации.

С 1 января 2019 г. вступил в силу Федеральный закон «О внесении изменений в Лесной кодекс РФ и отдельные законодательные акты РФ в части совершенствования воспроизводства лесов и лесоразведения», или закон «О компенсационных лесах» [2018а]. Его суть — сохранение лесистости территории посредством компенсации выбытия лесов их восстановлением всеми лесопользователями, а не только заготовителями древесины. Теперь закон закрепляет принцип «на один гектар вырубок — один гектар восстановления». Однако нельзя не заметить, что этот принцип является формальным, оторванным от реальной жизни, что подтверждает постановление Правительства РФ от 07.05.2019 № 566 [Правила выполнения работ…, 2019]. В соответствии с этим документом органам управления лесным хозяйством в субъекте РФ предстоит огромная работа по обследованию земель, предназначенных для лесовосстановления или лесоразведения; затем рассмотрение их проектов, содержание которых в Правилах пока федеральным регулятором не установлено.

Для Арктической зоны РФ, где активно ведутся работы по геологическому изучению недр, разработка месторождений полезных ископаемых и строительство линейных объектов, целесообразно увеличить срок, в течение которого компании, обратившиеся с ходатайством или заявлением об изменении целевого назначения лесного участка, обязаны выполнить работы по лесовосстановлению или лесоразведению. Согласно закону, эти работы должны начаться «не позднее чем через год со дня внесения сведений об изменении вида разрешенного использования земельного участка в Единый государственный реестр объектов недвижимости». Если срок не увеличить, то компании, зарегистрированные в ЕГРОН за год и более до вступления в силу федерального закона, не будут обязаны проводить работы по лесовосстановлению и лесоразведению.

Выводы

Несовершенство системы государственного управления лесами, где основная роль, полномочия и важнейшая функция по методическому обеспечению принадлежат федеральным органам власти, снижает уровень экологической и экономической эффективности лесопользования в целом по стране и в районах АЗРФ в частности.

В качестве положительной тенденции в нормативно-правовом регулировании на пути к «устойчивому лесоуправлению» в стране следует отметить увеличение выделения средств из федерального бюджета на выполнение делегированных поручений субъектам Федерации, в т. ч. за счет федерального проекта «Сохранение лесов» национального проекта «Экология».

Достижение целевых показателей федерального проекта «Сохранение лесов» в среднесрочной перспективе кардинально не повысит экологическую и экономическую эффективность лесопользования на территории АЗРФ.

Рост показателей экологической и экономической эффективности лесного хозяйства в Арктике и Субарктике в значительной мере будет зависеть от качества исполнения новых федеральных законов о «защитных» и «компенсационных» лесах после дополнительного внесения в них изменений для обеспечения комплексного регулирования правового статуса защитных лесов и установления правил лесоразведения с учетом особенностей разных лесохозяйственных районов и лесопользователей.

Литература

Бобылев С. Н., Захаров В. М. Экосистемные услуги и экономика. М.: Тип. ЛЕВКО, 2009. С. 19–26.

Евсеев А. В., Красовская Т. М. Притундровые леса в структуре экологического каркаса Мурманской области. М.: ЛКМ, 2008. С. 15–22.

Итоги работы по лесному надзору за I полугодие 2019 года / Мин-во природных ресурсов Республики Карелия. 2019. URL: https://minprirody.karelia.ru/gosudarstvennyj-kontrol/federal-nyj-gosudarstvennyj-lesnoj-nadzor-lesnaja-ohrana/ (дата обращения: 17.04.2020).

Лесной кодекс Российской Федерации: федер. закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. 03.08.2018 с изм. и доп.). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения: 17.04.2020).

Лесной план Мурманской области. Т. I: Пояснительная записка. Мурманск, 2018. С. 20.

Литвинова А. А., Игнатьева М. Н., Коротеев Г. Д. Понятие экосистемных функций и услуг // Экономика и социум. 2016. № 3 (22). С. 715–724.

Логинов А. А., Лыков И. Н., Васильева М. А. Укрупненная оценка стоимости экосистемных услуг леса // Проблемы региональной экологии. 2018. № 4. С. 59–62.

О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования воспроизводства лесов и лесоразведения: федер. закон от 19.07.2018 № 212-ФЗ. *2018а.* URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_302854/ (дата обращения: 17.04.2020).

О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования правового регулирования отношений, связанных с обеспечением сохранения лесов на землях лесного фонда и землях иных категорий: федер. закон от 27.12.2018 № 538-ФЗ. *2018б.* URL: https://rg.ru/2018/12/29/les-dok.html (дата обращения: 17.04.2020).

О внесении изменений в методику распределения между субъектами Российской Федерации субвенций из федерального бюджета для осуществления отдельных полномочий Российской Федерации в области лесных отношений, реализация которых передана органам государственной власти субъектов Российской Федерации: постановление Правительства РФ от 13.02.2019 № 145. URL: http://docs.cntd.ru/document/552378433 (дата обращения: 17.04.2020).

О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель»: постановление Правительства РФ от 07.03.2019 № 244. *2019а*. URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102475522&intelsearch=%CE+%CF%D0%CE%C2%C5%C4%C5%CD%C8%C8+%D0%C5%CA%D3%CB%DC%D (дата обращения: 17.04.2020).

О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 318 «Об утверждении государственной программы РФ «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 годы: постановление Правительства РФ от 28.03.2019 № 350. *2019б*. URL: http://docs.cntd.ru/document/499091762 (дата обращения: 17.04.2020).

О внесении изменений в Правила тушения лесных пожаров», утвержденные приказом Минприроды России от 08.07.2014. № 313: приказ Минприроды России от 08.10.2015 № 426. URL: https://minjust.consultant.ru/documents/16798 (дата обращения: 17.04.2020).

О Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 20.09.2018 № 1989-р. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71960006/ (дата обращения: 17.04.2020).

Об установлении возрастов рубок: приказ Рослесхоза от 09.04.2015 № 105 (ред. от 02.07.2015). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_57134/ (дата обращения: 17.04.2020).

Об утверждении Методики государственной кадастровой оценки земель лесного фонда Российской Федерации: приказ Росземкадастра от 15.04.2002 № П/263. URL: http://www.valnet.ru/m7-82.phtml (дата обращения: 17.04.2020).

Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р. URL: https://rg.ru/2013/10/01/lesa-site-dok.html (дата обращения: 17.04.2020).

Об утверждении перечня информации, включаемой в отчет об использовании лесов, формы и порядка представления отчета об использовании лесов, а также требований к формату отчета об использовании лесов в электронной форме: приказ Минприроды России от 21.08.2017 № 451. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_286062/ (дата обращения: 17.04.2020).

Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 26.09.2013 № 1724-р. URL: https://rg.ru/2013/10/01/lesa-site-dok.html (дата обращения: 17.04.2020).

Оценка эффективности переданных полномочий / Федер. агентство лесного хозяйства Российской Федерации. URL: http://rosleshoz.gov.ru/activity/monitoring/reference_and_analytical_information/evaluation (дата обращения: 17.04.2020).

Паспорт национального проекта «Экология»: [утвержден 24.12.2018, протокол № 16]. 2018. URL: http://static.government.ru/media/files/pgU5Ccz2iVew3Aoel5vDGSBjbDn4t7FI.pdf (дата обращения: 17.04.2020).

Правила выполнения работ по лесовосстановлению или лесоразведению лицами, использующими леса в соответствии со ст. 43–46 Лесного кодекса Российской Федерации, и лицами, обратившимися с ходатайством или заявлением об изменении целевого назначения лесного участка: постановление Правительства РФ от 07.05.2019 № 566. URL: http://static.government.ru/media/files/GFedajde8IGcqAiyRAuL28QomfvC1qQj.pdf (дата обращения: 17.04.2020).

Резолюция Лесного форума от 22.11.2018 г. / Федер. агентство лесного хозяйства. URL: http://rosleshoz.gov.ru/documents (дата обращения: 17.04.2020).

Харитонова Г. Н. Передача полномочий северным субъектам Федерации в сфере природопользования: плюсы и минусы (на примере Мурманской области) // Актуальные проблемы экономики и управления: сб. ст. III заочной Всерос. науч.-практ. конф. / отв. ред. проф. М. Н. Игнатьева, доц. Л. А. Мочалова. Екатеринбург: УГГУ, 2015. С. 185–192.

Цветков В. Ф., Семенов Б. А. Современные проблемы притундровых лесов // Современные проблемы притундровых лесов: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Архангельск: САФУ, 2012. С. 5–13.

Экосистемы и благосостояние людей. Оценка экосистем на пороге тысячелетия: [доклад концептуальной рабочей группы по «Оценке экосистем на пороге тысячелетия»]. Вашингтон, Ковело, Лондон: Island Press, 2005. 138 с. URL: https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_A%20framework%20for%20Assessment_RUS.pdf (дата обращения: 17.04.2020).

Сведения об авторе

Харитонова Галина Николаевна
кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института экономических проблем им. Г. П. Лузина ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты, e-mail: Kharitonova@iep.kolasc.net.ru

Galina N. Kharitonova
PhD (Economics), Leading Researcher, G. P. Luzin Institute for Economic Studies of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», Apatity; e-mail: Kharitonova@iep.kolasc.net.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.018
УДК 502.5(470.21)

Л. Г. Исаева, Ю. Р. Химич
Институт проблем промышленной экологии Севера
ФИЦ «Кольский научный центрРоссийской академии наук»

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА МОНЧЕГОРСКА (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация

Оценено состояние естественных и искусственно созданных зеленых насаждений города Мончегорска, который расположен в зоне действия медно-никелевого комбината «Североникель» Кольской горно-металлургической компании. Отмечено повреждение листвы промышленными выбросами, насекомыми и грибами. Выявлено 20 % погибших растений. В зелёных насаждениях в центре города обнаружено 36 видов афиллофороидных грибов.

Ключевые слова:
Мончегорск, зеленые насаждения, промышленное загрязнение, грибы, насекомые.

Lyudmila G. Isaeva, Yulia R. Khimich
Institute of the Industrial Ecology Problems of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”

ASSESSMENT OF THE STATE OF FOREST PLANTING OF THE MONCHEGORSK TOWN (MURMANSK REGION)

Abstract

The state of natural and created forests stands in Monchegorsk town has been studied. The “Severonikel” Cu-Ni smelter is located near the town. Research results revealed damage to trees and shrubs by small sucking insects, fungi and industrial emissions. Plants growing in areas of the city where there is an impact of air pollution are more damaged. In the central part of the city 36 species of aphyllophoroid fungi were identified.

Keywords:
Monchegorsk, forests stands, air pollution, fungi, insects.

Введение

Сегодня невозможно представить город без островков зелени. Парки, скверы — неотъемлемая часть современного города. Зеленые насаждения — это, прежде всего, природный фильтр, очищающий воздух и насыщающий его

кислородом. Загазованность является наболевшей проблемой городов, поэтому все больше мер принимается для озеленения и благоустройства парковых зон и скверов.

Вопросы оценки состояния и устойчивости зеленых насаждений в городах с развитой инфраструктурой и промышленностью стоят особо остро. На зеленые насаждения отрицательное воздействие оказывают: атмосферное загрязнение, уплотнение, загрязнение почвы и обеднение ее питательными элементами, перепад температур, механические повреждения. В итоге ослабленные деревья и кустарники повреждаются болезнями и вредителями, ухудшается их состояние, они теряют декоративность, сокращается период их роста.

Чтобы избежать негативных последствий, зеленые насаждения городов разносторонне обследуются во всех уголках страны [Ежов, 2008; Шихова, Полякова, 2011; Истомина, Лихачева, 2013; Прохоренко и др., 2017; Чжан, Пузанова, 2019 и др.]. Афиллофороидные грибы являются важным компонентом лесных экосистем, который может использоваться при оценке состояния зеленых насаждений. Увеличение числа ослабленных деревьев в городских насаждениях может приводить к росту встречаемости грибов-биотрофов.

Мончегорск расположен в центральной части Мурманской обл., у подножия Монче-тундры. Его застройка осуществлялась по разработанному в 1935–1936 гг. генеральному плану [Планировка..., 1972]. Первые посадки деревьев и кустарников осуществлены в 1946 г. [Древесные..., 2012].

Вблизи города функционирует комбинат «Североникель» АО «Кольская ГМК», основными выбросами которого являются сернистый газ и тяжелые металлы (Ni, Cu), вызывающие аэротехногенное загрязнение прилегающих территорий и влияющие на состояние насаждений. Исследования древесных растений в городах региона, расположенных в зоне воздействия медно-никелевых производств, проводили и ранее [Древесные..., 2012; Мониторинг..., 2013; Состояние…, 2015], при этом оценивали в основном состояние интродуцентов в зеленых посадках.

Цель исследований — оценка состояния естественных и искусственно созданных зеленых насаждений города Мончегорска, расположенного в зоне действия медно-никелевого комбината «Североникель».

Объекты и методы исследований

Объектами исследований в августе 2018 г. послужили искусственно созданные и естественные зеленые насаждения Мончегорска: сквер в микрорайоне Монча (на пересечении улиц Ленина и Кондрикова), центральный парк и аллеи вдоль проспекта Металлургов.

Проведено обследование (рекогносцировочное и детальное) зеленых насаждений. Рекогносцировочное обследование выполнено маршрутным методом с выделением участков с наибольшим повреждением древесно-кустарникового яруса. При детальном лесопатологическом обследовании на этих участках закладывали пробные площади (ПП) размером 20×20 м^2, на которых делали сплошной перечет деревьев, поросли и подроста по ступеням толщины (диаметру) и категориям состояния. Диаметр дерева измеряли на высоте 1,3 м мерной вилкой. Перечет деревьев на пробной площади проводили, учитывая диаметр ≥ 5 см, к подросту и подлеску относили растения с диаметром ствола менее 5 см.

Для оценки состояния деревьев и кустарников использовали категории жизненного состояния, которые устанавливали по совокупности признаков: состоянию стволов и ветвей, ажурности крон, приросту по высоте, изменению размеров хвои или листьев, продолжительности жизни хвои, наличию хлорозов и некрозов хвои или листьев [Влияние…, 1990; Лесные…, 1990; Методические…, 1990]. Выделяли следующие категории состояния:

1 — неповрежденные деревья или кустарники, условно совершенно здоровые, нормального развития деревья, без признаков повреждения;

2 — слабо поврежденные (ослабленные), деревья со слегка разреженной кроной, со слабыми признаками дефолиации по всему профилю или частично;

3 — средне поврежденные (сильно ослабленные), деревья с умеренно изреженной (ажурной) кроной, с хорошо выраженной дефолиацией;

4 — гибнущие (усыхающие), деревья с усыхающей, сильно изреженной кроной, чаще с отмершей вершиной или верхней частью кроны, явно утрачивающие жизнеспособность и обреченные на гибель в ближайшие годы;

5 — сухостой текущего года, т. е. деревья, засохшие в текущем году;

6 — сухостой прошлых лет;

7 — валеж, ветровал, бурелом.

Отмечали повреждение насекомыми, грибами, наличие хлороза и некроза в результате атмосферного загрязнения.

Степень повреждения рассчитывали по наличию деревьев разных категорий состояния. С этой целью использовали индекс состояния, или повреждения:

$$\mathrm{In} = (n1\mathrm{K1} + n2\mathrm{K2} + \ldots + n6\mathrm{K6}) / N,$$

где $n1 \ldots n6$ — количество деревьев 1-й, 2…6-й категории; K1…K6 — баллы жизненного состояния категорий деревьев, соответствующие номеру категории; N — общее количество учтенных деревьев на пробной площади.

Оценку жизненного состояния древостоев корректировали в соответствии с региональными рекомендациями (табл. 1).

Афиллофороидные грибы регистрировали в пределах пробных площадей, а также маршрутным методом в городском парке, в зеленых насаждениях вдоль просп. Металлургов и в примыкающих кварталах. Видовые названия грибов приведены согласно базе Index Fungorum [2020]. Образцы хранятся в гербарии Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (INEP).

Таблица 1

Шкала оценки жизненного состояния древостоев

Категории состояния древостоев	Значение индекса состояния по скорректированной шкале к условиям региона	
	по [Методические…, 1990]	по [Карпенко, 1984]
Неповрежденные	до 1,65	до 1,55
Слабо поврежденные	1,66–2,65	1,56–2,55
Среднеповрежденные	2,66–3,65	2,56–3,55
Сильно поврежденные (гибнущие)	3,66–4,65	3,56–4,55
Погибшие	4,66 и более	4,56 и более

Результаты и обсуждение

Микрорайон Мончи. Сквер на пересечении улиц Ленина и Кондрикова был создан в 1999–2001 гг. В этот период зеленые насаждения занимали 69 % его площади и были представлены групповыми и рядовыми посадками деревьев и кустарников, а также многолетних цветов.

Для создания древесно-кустарниковых композиций использовались как местные породы (рябина Городкова — *Sorbus gorodkovii* Pojark, ель сибирская — *Picea obovata* Ledeb., береза пушистая — *Betula pubescens* Ehrh.), так и интродуцированные виды (лиственница сибирская — *Larix sibirica* Ledeb., спирея средняя — *Spiraea media* Fr. Schmidt, спирея иволистная — *Spiraea salicifolia* L., сирень венгерская — *Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb., рябинник рябинолистный — *Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun, рябина промежуточная — *Sorbus intermedia* (Ehrh.) Pers., боярышник кроваво-красный — *Crataegus sanguinea* Pall., черемуха Маака — *Padus maackii* (Rupr.) Kom.) [Зеленое..., 2010; Древесные..., 2012]. В 2011–2012 гг. здоровые экземпляры среди древесно-кустарникового яруса составляли 42 %, остальные были с разной степенью ослабленности: имели искривленные стволы, сильно изреженную крону, более мелкие листовые пластинки, усыхание побегов [Древесные..., 2012].

При рекогносцировочном обследовании сквера в 2018 г. отмечено, что зеленые насаждения сквера находятся в удовлетворительном состоянии, но уход за ними недостаточен (насаждения загущены, нет обрезки сухих веток, не проводится культурная декоративная обрезка кустов). Многие деревья и кустарники уже плодоносят и сильно разрослись. Посадка цветущих растений не осуществляется.

Детальное обследование, ввиду небольшой территории сквера, выполнено маршрутным методом. При тщательном осмотре деревьев и кустов выявлены их повреждения насекомыми и клещами: черемухи — черемуховым галловым клещиком и мелкими сосущими фитофагами; ивы — ивовым листоедом, ивовым ягодным пилильщиком и ивовым галловым клещиком; березы — березовой переливчатой молью, березовой молью-пестрянкой и березовым большим минирующим пилильщиком; рябины — минирующей рябиновой молью-крошкой.

Следует отметить, что район Мончи подвержен воздушному загрязнению сернистым газом как в летний, так и в зимний периоды. Известно, что насекомые повреждают, прежде всего, ослабленные деревья и кустарники, активно — растения-интродуценты. Мелкие сосущие насекомые в незначительном количестве лишь усиливают ослабленность, а листогрызущие (пилильщики и листоеды), причиняют больший вред, объедая листья. В целом, растения на территории сквера повреждены насекомыми в слабой степени, кроме черемухи, которая имеет мозаичную окраску листвы и сильно ослабленное состояние.

Центральный парк (парк Металлургов) существует с момента застройки города и является одним из первых объектов озеленения в Мурманской обл. С западной стороны к парку примыкают жилые дома, с южной и восточной — проспекты Металлургов и Кирова, с северной — оз. Лумболка. Из-за расположения в центре города парк культуры и отдыха активно посещается жителями. Парк создан на основе естественных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с незначительной примесью ели сибирской, березы пушистой, осины (*Populus*

tremula L.) и рябины Городкова, в подлеске встречаются ивы (*Salix* spp.). В напочвенном покрове преобладают брусника, черника, встречаются линнея северная, иван-чай, луговик извилистый, золотарник, тысячелистник, куртинки клевера белого. Вдоль центральной аллеи высажены несколько лиственниц.

При рекогносцировочном обследовании зеленых насаждений центрального парка выявлено, что естественные фитоценозы находятся в удовлетворительном состоянии. На насаждения оказывается сильная рекреационная нагрузка, помимо асфальтовых дорожек, много тропинок и участков без напочвенного покрова.

Для детального обследования были заложены три пробных площади (№ 1–3), расположенные в разных местах парка (табл. 2). Для оценки состояния деревьев и кустарников использовали категории их жизненного состояния. Обследование выполнено на общей площади 1200 м^2.

Всего в центральном парке города было обследовано 116 живых деревьев (сосны, ели, лиственницы, березы, осины, рябины и ивы) и 2 засохших дерева (сосна и береза); 182 экз. живого подроста и подлеска и 1 сухая осина и 1 ива в валежном состоянии.

Из 118 обследованных деревьев %: 58 — здоровые, без признаков ослабления; 27 — в ослабленном состоянии; 9 — сильно ослабленные; 4 — усыхающие и 2 — засохшие. Кроме этого, на площадках выявлено 7 пней сосны и 3 пня березы. Среди подроста и подлеска, %: 60 — здоровые, 26 — ослабленные, 7 — сильно ослабленные, 6 — усыхающие и 1 — погибший. Степень повреждения насаждения по основным древесным породам соответствует слабо поврежденному насаждению (индекс повреждения составил 1.70) (табл. 3).

Зеленые насаждения в центральном парке повреждены в результате аэротехногенного загрязненения в слабой степени (5 %). Больше всего признаков повреждения (хлороз и некроз) имели молодые ивы и рябины. У 10 % деревьев отмечены обдир коры и трещины ствола. В основном на насаждения в центральном парке оказывает влияние рекреационная нагрузка и активный отдых населения (тропы, нарушение напочвенного покрова, утрамбовывание почвы). В результате комплексного воздействия различных факторов происходит ослабленное состояние древесно-кустарникового яруса.

В древесно-кустарниковом ярусе обнаружено повреждение насекомыми ивы (ивовым ягодным пилильщиком и ивовым листоедом) и осины (осиновой тлей). Отмечены болезни листьев и хвои деревьев и кустарников, вызываемые грибами. На березе — возбудитель ржавчины *Melampsoridium betulinum* (Pers.) Kleb.), на ели — *Chrysomyxa abietis* (Wallr.) Unger и *Chrysomyxa ledi* (Alb. & Schwein.) deBary, на ивах — *Melampsora caprearum* (DC.) Thüm., на осине — *Melampsora populnea* (Pers.) P. Karst. Кроме того, отмечен возбудитель черной пятнистости листьев ивы — *Rhytisma salicinum* (Pers.) Rhem.

В пределах ПП на пнях, сухостойных деревьях, валеже и усохших ветках выявлены дереворазрушающие грибы: береза — *Cerioporus stereoides* (Fr.) Zmitr. et Kovalenko, *Peniophorella praetermissa* (P. Karst.) K. H. Larss., *Radulomyces confluens* (Fr.) M. P. Christ., *Phellinus igniarius* (L.) Quél, *Fomes fomentarius* (L.) Fr., *Fomitopsis betulina* (Bull.) B. K. Cui, M.L. Han & Y. C. Dai; сосна — *Amphinema byssoides* (Pers.) J. Erikss., *Botryobasidium subcoronatum* (Höhn. et Litsch.) Donk; ива — *Cytidia salicina* (Fr.) Burt, *Hyphoderma setigerum* (Fr.) Donk, *Peniophorella praetermissa.* На двух живых ослабленных и сильно ослабленных березах встречен *Inonotus obliquus* (Fr.) Pilát.

Таблица 2

Распределение деревьев и кустарников (экз.) по категориям состояния
в центральном парке г. Мончегорска на пробных площадках

Порода	Средний диаметр, см	Категория живых				Всего живых	Повреждено насекомыми	Повреждено грибами	Категория погибших			
		1	2	3	4				5	6	7	пни
ПП 1, смешанный елово-сосново-березовый лес кустарничково-луговиковый												
Древесный ярус												
Сосна	24,0	2	3	0	0	5	0	0	0	1	0	2
Ель	14,5	1	2	0	0	3	0	3	0	0	0	0
Береза	15,0	8	6	1	0	15	0	5	0	0	0	1
Подрост и подлесок												
Сосна	–	12	0	0	0	12	2	0	0	0	0	0
Ель	–	0	2	2	0	4	0	3	0	0	0	0
Береза	–	5	5	0	0	10	4	5	0	0	0	0
Ива	–	1	2	0	0	3	1	2	0	0	1	0
Рябина	–	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
ПП 2, сосново-березовый лес чернично-луговиковый с присутствием ели												
Древесный ярус												
Сосна	17,1	8	7	3	1	19	0	0	0	0	0	5
Ель	14,2	2	2	0	0	4	0	3	0	0	0	0
Береза	11,6	11	3	0	0	14	0	2	0	0	0	2
Подрост и подлесок												
Сосна	–	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Ель	–	3	4	3	0	10	0	6	0	0	0	0
Береза	–	11	8	3	0	22	7	9	0	0	0	0
Рябина	–	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0

Окончание таблицы 2

Порода	Средний диаметр, см	Категория живых				Всего живых	Повреждено насекомыми	Повреждено грибами	Категория погибших			
		1	2	3	4				5	6	7	пни
ПП № 3, смешанный лес разнотравно-луговиково-кустарничковый												
Древесный ярус												
Сосна	15,9	2	1	0	1	4	0	1	0	0	0	0
Ель	10,5	4	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0
Лиственница	24,0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Береза	20,7	3	2	3	0	8	3	3	0	1	0	0
Осина	8,1	10	0	0	0	10	0	9	0	0	0	0
Ива	8,5	10	7	4	2	23	3	0	0	0	0	0
Рябина	7,4	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
Подрост и подлесок												
Сосна	–	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
Ель	–	10	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0
Береза	–	13	7	1	0	21	6	14	0	0	0	0
Осина	–	19	11	4	6	40	24	33	0	1	0	0
Ива	–	7	7	4	4	22	6	12	0	0	0	0
Рябина	–	12	0	0	0	12	1	0	0	0	0	0

Таблица 3

Распределение деревьев и кустарников (экз.) по категориям состояния
в осиново-березовых зеленых насаждениях искусственного происхождения

Порода	Диаметр, см	Категория				Всего живых	Повреждено насекомыми	Повреждено грибами	Категория			
		1	2	3	4				5	6	7	пни
ПП 1 (площадь обследованной аллеи 400 м^2)												
Древесный ярус												
Осина	14,1	24	12	0	0	36	19	0	0	0	0	0
Береза	12,9	11	3	0	0	14	3	0	0	0	0	0
Ива	8,5	1	7	11	4	23	7	10	0	7	0	0
Рябина	9,9	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
Подрост и поросль												
Осина	–	0	0	2	0	2	1	0	0	1	0	0
Береза	–	1	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Ива	–	3	3	3	0	9	5	6	0	4	0	0
ПП 2 (площадь обследованной аллеи 160 м^2)												
Древесный ярус												
Осина	11,9	8	1	1	0	10	9	0	0	1	0	0
Береза	16,8	17	4	1	0	22	1	0	0	0	0	0
Ива	15,8	1	2	1	0	4	4	3	0	0	0	0
Рябина	7,3	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Подрост и поросль												
Осина	–	4	4	0	0	8	8	0	0	0	0	0
Ива	–	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Рябина	–	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0

Известно, что накопление в компонентах биоценозов токсических веществ и продолжительность их действия влияют на распространенность и численность патогенных организмов на разном удалении от источника загрязнения [Морозова, 1994]. Нашими многолетними наблюдениями установлено, что сернистый газ подавляет грибы, вызывающие ржавчину листьев и хвои [Исаева, 2018]. В центральном парке листья березы, осины, ивы повреждены ржавчинными грибами в слабой степени, хвоя ели — средней степени. Присутствие поврежденной ржавчинными грибами хвои и листвы свидетельствует о том, что в вегетационный период сернистый газ (в виде атмосферных выбросов комбината «Североникель») не оказывает существенного влияния на насаждения в парке, так как основное направление ветра в этот период — на юго-запад от источника загрязнения.

Проспект Металлургов (протяженностью 2612 м) является центральной магистралью городского значения [Зеленое..., 2010], привлекает внимание архитектурой зданий и «утопает» в зелени искусственно созданных насаждений, которые составляют 46 % от общей площади проспекта. Основными древесными породами на аллеях являются береза пушистая (48 %) и осина (31 %). Сопутствующие породы: разные виды ив (12 %) и рябина Городкова (8 %). Единично встречаются ель сибирская и сосна лапландская. Зеленые насаждения размещены неравномерно, есть и сильно загущенные, и разреженные участки, посадки рядами и группами. Средний возраст насаждений 70–80 лет.

По просп. Металлургов были заложены две пробных площади в разных аллеях в направлении от центральной площади города до начала аллей. Обследованные участки в основном представлены осиной, березой, ивой и рябиной. Аэротехногенным загрязнением повреждены: 2 дерева березы и 2 березы порослевого происхождения, 6 деревьев ивы и 1 ива-поросль, что составляет 5 % от всех живых осмотренных древесно-кустарниковых пород.

Всего на просп. Металлургов на площади 560 м^2 обследовано 117 живых (осина, береза, ива и рябина) и 8 сухостойных деревьев (ива и осина); подрост и подлесок представлены теми же породами, из которых 25 живых и 5 засохших (ива и осина).

При оценке жизненного состояния деревьев выявлено, %: здоровые — 56, ослабленные — 23, сильно ослабленные — 11, усыхающие — 3, засохшие — 7. Среди подроста и подлеска: здоровые и ослабленные — по 33 %, сильно ослабленные и погибшие — по 17 %. Индекс состояния равен 2,00, что соответствует слабо поврежденному насаждению. По нашим наблюдениям, листья осины четвертый год «страдают» от тли, в 2018 г. повреждение сосущими насекомыми (в слабой степени) отмечено у 66 % растений. Аэротехногенными выбросами повреждено 8 % древесно-кустарниковых пород (ива и береза).

Насаждения на аллеях по просп. Металлургов представлены в основном осиной и березой. Результаты обследования показали, что насаждения находятся в удовлетворительном состоянии. Повреждение листьев осины тлёй отмечено в слабой степени, листьев ивы болезнью черная пятнистость (*Rhytismasalicinum*) — повсеместно. На двух рябинах, сильно ослабленных и усыхающих, обнаружен гриб *Cytidia salicina*. Службой по уходу за зелеными насаждениями спилены и убраны мелкие деревца и поросль.

Обследование зеленых насаждений в центре города маршрутным методом позволило, помимо вышеупомянутых афиллофороидных грибов, выявить следующие виды: *Antrodia xantha* (Fr.) Ryvarden, *Antrodiella pallescens* (Pilát) Niemelä et Miettinen, *Cerrena unicolor* (Bull.) Murrill, *Cerioporus mollis* (Sommerf.) Zmitr. et Kovalenko, *Ceriporia reticulata* (Hoffm.) Domański, *Clavulina coralloides*

(L.) J. Schröt., *Coltricia perennis* (L.) Murrill, *Cylindrobasidium laeve* (Pers.) Chamuris, *Daedaleopsis septentrionalis* (P. Karst.) Niemelä, *Gloeophyllum* sp., *Peniophora cinerea* (Pers.) Cooke, *Peniophora incarnata* (Pers.) P. Karst., *Peniophora violaceolivida* (Sommerf.) Massee, *Phaeoclavulina abietina* (Pers.) Giachini, *Sistotrema brinkmannii* (Bres.) J. Erikss., *Stereum hirsutum* (Willd.) Pers., *Thelephora caryophyllea* (Schaeff.) Pers., *Trametes ochracea* (Pers.) Gilb. et Ryvarden, *Trechispora nivea* (Pers.) K.H. Larss., *Tubulicrinis* cf. *glebulosus* (Fr.) Donk, *Xanthoporus syringae* (Parmasto) Audet, *Xylodon radula* (Fr.) Ţura, Zmitr., Wasser et Spirin, *Vitreoporus dichrous* (Fr.) Zmitr.

В обследованных зеленых насаждениях отсутствовали поваленные крупные деревья, поэтому субстратом для дереворазрушающих грибов служили усохшие и опавшие ветви деревьев и пни. Наибольшее число видов грибов отмечено на березе — 17, в два раза меньше на иве — 7, на рябине и сосне — по 2, на ели — 1. Отмеченные дереворазрушающие грибы в основном относятся к сапротрофам, на живых деревьях березы выявлены *Inonotus obliquus* и *Phellinus igniarius.* Трутовик ложный встречается регулярно, немного реже — чага (*Inonotus obliquus*). На ослабленных и усохших деревьях березы иногда фиксируются *Fomes fomentarius* и *Fomitopsis betulina.* Находки многих афиллофороидных грибов были зарегистрированы единично, в том числе *Peniophora incarnata*, который часто встречается в насаждениях интродуцентов в городе Апатиты [Химич, 2013].

Кроме грибов, развивающихся на древесине, в городе выявлены напочвенные виды: *Clavulina cinerea*,*C. coralloides*, *Coltricia perennis*, *Thelephora caryophyllea*, *T. terrestris*, *Xanthoporus syringae.* В Мончегорске гриб *Xanthoporus syringae* регулярно (с 2015 г.) отмечается в посадках ивы на просп. Металлургов. В регионе этот гриб обнаружен только на территории городов Апатиты и Мончегорск [Химич и др., 2016], является некротрофом и развивается в городских посадках на отмирающих корнях, ослабленных в результате комплексного техно-и антропогенного воздействия.

Заключение

Состояние зеленых насаждений Мончегорска оценено как удовлетворительное. Внешний эстетический эффект хороший. Отмечено повреждение листвы насекомыми — пилильщиками, листоедами, мелкими сосущими тлями, молями, клещиками. Массовое поражение хвои ели и листьев березы ржавчинными грибами выявлено только в районе центрального парка города: подтверждено, что сернистый газ подавляет развитие ржавчинных грибов. Промышленными воздушными выбросами повреждена преимущественно листва берез.

В центре Мончегорска выявлено 36 видов афиллофороидных грибов, в основном относящихся к сапротрофам. Массового развития биотрофов и раневых грибов не наблюдается. Для понимания целостной картины микобиоты необходимы дальнейшие исследования, которые позволят пополнить список видов, выделить часто и эпизодически встречающиеся виды. Результаты обследования состояния зеленых насаждений Мончегорска показывают, что деревья и кустарники находятся в ослабленном состоянии, подвергаясь влиянию промышленного воздушного загрязнения, старятся быстрее их биологического возраста, повреждаются вторичными вредителями и болезнями, что снижает их устойчивость, декоративность и способность выполнять средозащитные функции. За зелеными насаждениями города необходим постоянный уход (обрезка сухих ветвей и стволиков, формирование кустов в виде подрезки ветвей). Требуется ежегодное наблюдение за состоянием деревьев и кустарников со стороны

соответствующих служб и своевременное оповещение специалистов по защите древостоев при обнаружении сильного их повреждения. Для изучения ответных реакций растений на загрязнение необходим длительный мониторинг за зелеными насаждениями, особенно интродуцентами.

Исследования выполнены в рамках госзадания ИППЭС КНЦ РАН (тема НИР № АААА-А18-118021490070-5) и при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-60142 «Арктика».

Литература

Влияние промышленного атмосферного загрязнения на сосновые леса Кольского полуострова. Л.: Ботан. ин-т АН СССР, 1990. 195 с.

Древесные интродуценты в озеленении городов Кольского Заполярья (на примере г. Мончегорска) / Е. А. Святковская [и др.] // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры: материалы междунар. конф., посвященной 80-летию Центрального ботанического сада НАН Беларуси. В 2 ч. Минск: ОДО НоваПринт, 2012. С. 471–474.

Ежов О. Н. Вредители и болезни городских зеленых насаждений Архангельского промышленного узла // Лесной журнал. 2008. № 3. С. 46–51.

Зеленое строительство в городах Мурманской области / О. Б. Гонтарь [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 292 с.

Исаева Л. Г. Болезни деревьев и кустарников Мурманской области // Грибные сообщества лесных экосистем / отв. ред. В. Г. Стороженко, А. В. Руоколайнен, А. В. Кикеева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. Т. 5. С. 48–56.

Истомина Н. Б., Лихачева О. В. Состояние древесно-кустарничковых насаждений «Ботанического сада» г. Пскова и рекомендации к его реконструкции // Вестник Псковского государственного университета. Естественные и физико-математические науки. 2013. № 3. С. 23–29.

Карпенко А. Д. Влияние промышленного загрязнения на еловые фитоценозы Кольского полуострова: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тарту, 1984. 23 с.

Лесные экосистемы и атмосферные загрязнения. Л.: Наука, 1990. 200 с.

Методические рекомендации по оценке существующего и прогнозируемого состояния лесных насаждений в зоне влияния промышленных предприятий Мурманской области / Гос. комитет СССР по лесу; Архангельский ин-т леса и лесохимии. Архангельск, 1990. 17 с.

Мониторинг состояния древесных насаждений на некоторых объектах озеленения в центральной части города Мурманска / О. Б. Гонтарь [и др.]. // Известия Самарского университета РАН. 2013. Т. 15. № 3 (2). С. 621–625.

Морозова Т. И. Грибные болезни в лесах, ослабленных атмосферным загрязнением // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. М., 1994. С. 43–45.

Планировка и застройка городов Кольского Севера / А. В. Махровская [и др.]. М.: Изд-во лит. по строительству, 1972. С. 63–103.

Прохоренко Н. Б., Демина Г. В., Мингазова Д. Н. Оценка жизненного состояния деревьев в урбанизированных условиях Казани // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19. № 2(3). С. 507–511.

Состояние древесных растений на урбанизированных территориях в зоне воздействия медно-никелевых комбинатов Мурманской области / Е. А. Святковская [и др.] // Роль ботанических садов в сохранении и мониторинге биоразнообразия: сб. материалов / отв. ред. Т. В. Вардуни, П. А. Дмитриев, О. А. Капралова. Ростов-н/Дону: Изд-во Южн. федер. ун-та, 2015. С. 596−600.

Химич Ю. Р. Афиллофороидные грибы на древесных интродуцентах зеленых насаждений города Апатиты // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16. № 3. С. 526−529.

Химич Ю. Р., Котиранта Х., Боровичев Е. А. Новые находки афиллофороидных грибов в Мурманской области. 1. Урбанизированные территории // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 7. С. 100–105.

Чжан С. А., Пузанова О. А. Некоторые современные подходы к изучению состояния зеленых насаждений // Успехи современного естествознания. 2019. № 3. С. 34−39.

Шихова Н. С., Полякова Е. В. Устойчивость дендрофлоры урбофитоценозов Владивостока к вредителям, болезням и неблагоприятным факторам среды // Вестник ДВО РАН. 2011. № 4. С. 49–57.

Index Fungorum. CABI Database. URL: http://www.indexfungorum.org (дата обращения: 05.05.2020).

Сведения об авторах

Исаева Людмила Георгиевна
кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией наземных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты; e-mail: l.isaeva@ksc.ru
Химич Юлия Ростиславовна
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты; e-mail: ukhim@inbox.ru

Lyudmila G. Isaeva
PhD (Agriculture), Head of the Laboratory of Terrestrial Ecosystems of Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of RAS, Apatity; e-mail: l.isaeva@ksc.ru
Yulia R. Khimich
PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of RAS, Apatity; e-mail: ukhim@inbox.ru

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.2.8.019
УДК 502.5 (470.21):711/712:364.2

Т. А. Мингалёва[1], А. А. Горячев[1], Е. И. Мингалёва[2], А. И. Мингалёв[3]
[1]*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ «Кольский научный центрРоссийской академии наук»*
[2]*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)*
[3]*Мурманский арктический государственный университет, филиал в г. Апатиты*

СОЦИАЛЬНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПАРКОВ МАЛОГО ГОРОДА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА АПАТИТЫ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Аннотация

Приведен анализ посещаемости парков города Апатиты в летне-осенний период. Представлены данные о количестве посетителей и преобладающих формах отдыха. Описан характер дневного режима посещения и его изменение в течение недели.

Дана сравнительная характеристика структурной организации территории двух парков. Отмечена взаимосвязь социальных и экологических функций городских парков. Предложены меры по модернизации и развитию парковых зон города как общественно значимых площадок.
Ключевые слова:
парк, зеленая зона, городская среда, посетители, социальные и экологические функции.

Tatiana A. Mingaleva[1], Andrey A. Goryachev[1], Ekaterina I. Mingaleva[2], Aleksandr I. Mingalev[3]
[1]Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences"
[2]Moscow Aviation Institute (National Research University)
[3]Murmansk Arctic State University Apatity branch

SOCIAL AND ENVIRONMENTAL FUNCTIONS OF PUBLIC PARKS IN A SMALL NORTHERN TOWN (ON THE EXAMPLE OF THE APATITY TOWN IN THE MURMANSK REGION)

Abstract
The paper presents analysis of the Apatity town parks attendance in the summer-autumn period. The data on the number of visitors and prevailing forms of recreation are presented. The character of the daily visiting mode and its variance during a week are described. The comparative analysis of the park territory was performed in accordance with structural organization. Interrelation of social and environmental functions of the town parks are determined. Arrangements for improvement and development in the town park areas as socially significant territories are proposed.
Keywords:
park, green area, urban habitat, visitors,social and environmental functions.

Введение

Анализ потенциала городских зеленых зон в повышении комфортности среды и устойчивости ландшафта — актуальное направление исследований урбанизированных территорий [Лунц, 1952; Юскевич, Лунц, 1986; Боговая, Теодоронский, 1990]. В XIX–XX вв. зеленые зоны становятся обязательной частью городского пространства и выполняют в первую очередь защитные функции, отделяя промышленные площадки от жилых кварталов. В 1930–1940 гг. началось массовое строительство рабочих поселков и городов в районах нового промышленного освоения, в том числе на Севере. В планировке городов Кировск, Мончегорск, Оленегорск, Апатиты, Полярные Зори значительное место уделялось системе озеленения [Практическое…, 1970]. В новых городах Мурманской обл. зеленые насаждения обустраивали вместе с возводимыми улицами, сохраняя участки естественного ландшафта. Озеленительные работы и дальнейшее научное сопровождение изначально выполняли Полярная опытная станция ВИР (ПОСВИР) и Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН (ПАБСИ КНЦ РАН). Усилия, затраченные на озеленение городских территорий, привели в конце XX в. к формированию города-сада. В XXI в. встала задача сохранения структуры озеленения городов и ее совершенствования [Костина, Гонтарь, 2003; Зеленое..., 2010].

В процессе урбанизации повышается интенсивность использования внутреннего городского пространства, в том числе рекреационных зон [Курбатова, 2004; Экология…, 2004]. Меняется система озеленения городов и оценка ее социальной значимости в городском пространстве. Усложняется спектр экологических услуг, которые город оказывает населению посредством развития

зеленой инфраструктуры. Возникает целый ряд социальных программ, охватывающих широкие слои населения, местом проведения которых становятся рекреационные и зеленые зоны городов. В этих условиях мониторинг состояния городских парков и садов и их посещаемости приобретает новый практический интерес.

Объекты исследования

Исследование посещаемости и структуры парковых территорий проводили в 2018 г. в городе Апатиты Мурманской обл. (67°34' с. ш., 33°24' в. д.), расположенном за Северным полярным кругом. Площадь города на середину 2018 г. составляла 30,9 км^2 (3090 га), население — 55,7 тыс. человек. Основная часть жилой застройки занимает холм с пологими склонами и наибольшей высотной отметкой 200 м. Южный и западный склоны холма спускаются в сторону залива Тикгуба оз. Имандра, отметка уреза воды — 127,5 м. Северный и северо-восточный склоны холма обращены к долинам рек Жемчужная (154,6 м) и Белая (162,7 м), которые протекают у подножья Хибинского горного массива. Горы служат преградой холодным северным и северо-восточным ветрам и воздушным массам, ослабляя их воздействие на город. Температура воздуха колеблется в интервале абсолютных отметок от –49 до +33 °С (метеостанция Апатиты). Средняя температура наиболее холодного месяца — –13 °С, наиболее теплого — +14° С. Продолжительность периода со среднесуточной температурой +5° С не превышает 120 дней. Заморозки и выпадение снега могут наблюдаться в течение всего вегетационного периода. Годовое количество осадков составляет в среднем 563 мм, значительно меняясь год от года. Частые оттепели с гололедными явлениями и сильные снегопады в зимний период приводят к снеголомам и снеговалам деревьев в результате чрезмерной нагрузки снежных отложений на кроны. Дополнительное воздействие на древесные насаждения оказывают сильные ветры. Отмечаются среднесуточные скорости ветра до 10,5 м/с. Высота снежного покрова нередко превышает 1 м. При высоте снега менее 50 см в холодные малоснежные зимы промерзание почвы достигает 1,5 м. Заполярное расположение города определяет низкое положение солнца над линией горизонта и обусловливает влияние периодов полярных дня и ночи на физиологические процессы живых организмов. Район относится к подзоне северотаежных лесов, низины и долины рек заняты травяными и кочковато-мочажинными болотами или березняками [Атлас…, 1971].

По данным исследований специалистов ПАБСИ КНЦ РАН, в 2007 г. общая площадь зеленых насаждений в городе Апатиты занимала 140,5 га, из которых половина приходилась на объекты общего пользования и располагалась внутри жилых кварталов. В насаждениях было выделено два основных типа ландшафта — лесной и парковый. На образовательные и лечебные учреждения приходилось 49 % от общей площади зеленых зон, внутриквартальные насаждения составляли 28 %, уличные — 17 %, скверы — 3,5 %, парки — 2,5 % [Святковская, 2007].

На текущий момент в г. Апатиты две площадки, ранее считавшиеся скверами, являются общественными городскими парками — Центральный и Пушкинский. Центральный парк площадью около 4 га примыкает к зданию администрации города и располагается на участке между улицами Ленина, Ферсмана, Московская, Космонавтов (рис. 1). Со стороны ул. Ферсмана рядом с парком находится Академгородок и его жилая зона, жилые кварталы расположены вдоль улиц Московская и Космонавтов.

Рис. 1. Карта-схема города Апатиты с территориями городских парков — Центрального (*1*) и Пушкинского (*2*). Использована картографическая основа с сервиса «Яндекс.Карты». Масштаб 1:30000

На ул. Ленина и одноименной площади в районе парка размещается административно-культурный центр города с гостиницей, почтой, кинотеатром, музеем, кафе, мемориальным сквером. Площадка Центрального парка находится в верхней части северо-восточного склона холма, высотные отметки равномерно понижаются от 194,4 до 179,3 м.

Пушкинский парк площадью около 1 га находится внутри жилых микрорайонов и примыкает к пересечению улиц Пушкина и Дзержинского (рис. 1). Последняя представляет собой пешеходный бульвар и вместе с парком обеспечивает безопасную и комфортную среду для отдыха жителей в южном сегменте города. Парк находится в средней части южного склона холма, перепад высоты на его территории от 164,8 м до 169,4 м.

Материалы и методы

Исследование парковых зеленых зон проводили в августе — сентябре 2018 г. методом натурных наблюдений на территории общественных парков Центральный и Пушкинский. Мониторинг их посещаемости и характера занятий посетителей выполняли по единой программе с 9.00 до 18.00, в различные дни недели. Количество посетителей подсчитывали за каждый час. Для выявления различий посещаемости в будни и выходные выборка включала все дни недели [Методика…, 1997, Методическое…, 2001].

В один из будних дней наблюдения в Центральном парке продолжили до 19.00, чтобы получить представление о посещаемости зоны отдыха в вечерние часы, при этом отмечали возраст, пол, вид занятий посетителей. Возрастная характеристика посетителей приведена в виде градации с периодом в 10 лет, за исключением малышей до года, эту категорию посетителей дополнительно выделяли на территории Центрального парка. Фиксировали продолжительность пребывания в парке, частоту посещения парка за день, использование инфраструктуры парка, предпочтение определенных зон отдыха, способ контакта между посетителями [Городские…, 2017].

По характеру отдыха посетителей отнесли к двум группам:

- динамичная форма отдыха — различная двигательная активность от бега до прогулочного шага, использование спортивного инвентаря, приспособлений;
- статичная форма отдыха — продолжительное пребывание на одном месте стоя или сидя, релаксация, размышление, наблюдение, чтение, беседа.

Фиксировали использование посетителями личного инвентаря, в том числе спортивного. Отдельно отмечали посетителей с собаками, маршруты их движения по парковой зоне, время и частоту посещения за день. Некоторые отдыхающие и прохожие проявляли интерес к проведению мониторинга, высказывали свое мнение относительно отдыха в парке и состояния его территории. Эту информацию также фиксировали и использовали в качестве частной оценки социальной функции парка постоянными посетителями. Статистическая обработка полученных данных не представлялась целесообразной ввиду их небольшого объема. По факту наблюдений выявляли зоны активного и пассивного отдыха для детей и взрослых, основные направления транзитного движения посетителей.

Инвентаризацию парковых территорий проводили в соответствии с методическими руководствами [Методика…, 1997; Методическое…, 2001]. Общую площадь территорий парков определяли по карте масштаба 1:5000, площади под отдельными структурными элементами парков — методом натурных измерений с использованием мерной ленты. Выполняли оценку общего состояния

растительности, выявляли состав преобладающих, основных, дополнительных пород деревьев и кустарников, степень угнетения растений друг другом и воздействия на них неблагоприятных факторов среды. При оценке растительности учитывали: состав насаждений; жизнеустойчивость; деформацию крон и стволов деревьев; размещение растений и разрушение структуры насаждений в местах высоких антропогенных нагрузок; сомкнутость; загущенность древостоя.

Результаты и обсуждение

Инфраструктура и оформление парков.

Суммарная площадь двух городских парков около 5 га, что соответствует 0,16 % всей площади города. Общее количество посетителей в двух парках около 1500 человек в день, то есть 2,5 % населения. Полученные оценки количества посетителей могли оказаться ниже максимально возможных, поскольку проведение исследований совпало с периодом отпусков и дачным периодом.

Парки города Апатиты — это общественные площадки, круглосуточно открытые для посещения, режим пользования является общим с остальной городской территорией. Со стороны всех жилых кварталов на территорию парков есть входы, предусмотрено освещение в темное время суток вдоль основных дорожек, вокруг игровых площадок и в зонах тихого отдыха. Несмотря на различие в площади (Центральный парк занимает около 4 га, Пушкинский — 1 га), набор структурных элементов парков совпадает (рис. 2).

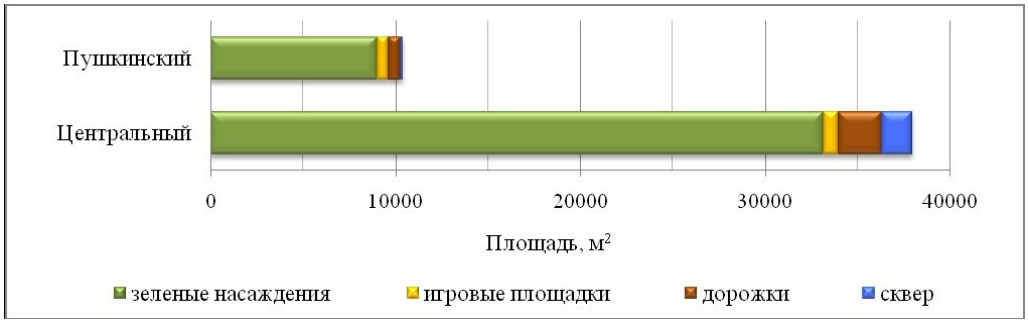


Рис. 2. Организация пространства и структурные элементы парков города Апатиты

Одинаково удачно размещены в угловых частях парков тематические скверы, в которые имеется свободный доступ с прилегающих к парку улиц. Под пологом деревьев и кустарников расположено 70 % парковой зоны, остальные 30 % занимают световые окна над оборудованными детскими игровыми площадками, естественными полянами и лужайками, что обеспечивает достаточную инсоляцию. От всей площади парков 12–14 % приходится на инфраструктуру, к ней относятся дорожки, площадки с лавочками, игровые детские зоны, сквер с памятником. В целом соотношение структурных элементов территории парков удовлетворяет требованиям региональных нормативов [Об утверждении…, 2011]. Территории парков ограждены, вдоль основных трасс, пересекающих парки, установлена система освещения, имеются урны для сбора мусора.

Количественная характеристика объектов парковой инфраструктуры приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика объектов инфраструктуры парков города Апатиты

Показатели	Центральный парк	Пушкинский парк
Площадь територии, *S*	37978 м^2 (3,80 га)	10400 м^2 (1,04 га)
Площадь под дорожками, покрытие, м^2	Асфальт — 1484, плитка — 260, грунтовые и протопы — 600	Асфальт—500, плитка — 100, грунтовые и протопы — 30
Площадь под игровыми площадками, м^2, вид покрытия	Две детские площадки — 290 и 490, мелкий гравий, песок, плитка	Две детские площадки — 290 и 320, мелкий гравий, песок
Инженерные сети, парковый инвентарь, количество, шт.	Осветительные конструкции (бетонные столбы со светильником (11)), лавочки (11), урны для мусора (23)	Осветительные конструкции (металлические столбы с двумя светильниками (15)), лавочки (17), урны для мусора (16), деревянные арки-ворота (2)
Угловые скверы с тематическими памятными знаками и объектами, количество, шт.	Площадка с покрытием из плитки, лавочки (4) перед металлической стелой и барельефом строителям города, размещены в роще лиственниц. *S* — 1656 м^2	Бетонная площадка приподнятая над уровнем примыкающих улиц с ограждением и лестницей, в дальней от входа стороне размещен памятник А. С. Пушкину. *S* — 125 м^2

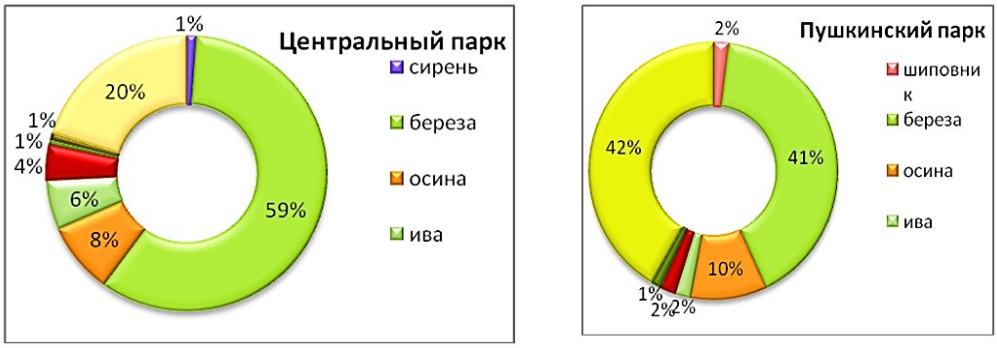
Состояние инфраструктуры парков различается. В Пушкинском парке в 2017 г. проведен капитальный ремонт и поэтапно ведется благоустройство территории: покрытие дорожек из плитки заменено на асфальт, установлены новые светильники и ограждение, обустроена входная группа и площадка с памятником, зона тихого отдыха. Исследования выявили проблему пропуска встречных потоков посетителей по основным диагональным направлениям движения. Ширина дорожек от 1,3 до 1,7 м недостаточна, отсутствует безопасное примыкание дорожек к территории парка, площадки для размещения лавочек вдоль дорожек не обустроены. Отмечен значительный износ покрытия на детских игровых площадках. В Центральном парке выявлен ряд недостатков в организации инфраструктуры: много участков дорожек с разрушенным покрытием, система освещения недостаточна и неисправна, не обустроены зоны для тихого отдыха, ассортимент игрового оборудования на детских площадках ограничен. Капитальный ремонт территории парка был запланирован в 2019 г. В обоих парках отсутствуют физкультурные уголки, нет парковок для велосипедов. Не применяются дизайнерские решения с яркими цветовыми комбинациями и современными материалами в игровых зонах, не предусмотрено деление этих зон для различных возрастных категорий. Практически нет элементов художественного оформления парковых зон в виде малых архитектурных форм, цветников, альпийских горок. Выявлена малая емкость урн для мусора, что, в свою очередь, требует оптимизации их размещения по территории парков. Мусорные контейнеры необходимо выполнять более

устойчивой конструкции, вместительными и закрывающимися. По эстетическим и санитарным соображениям желательно размещать их в стороне от лавочек, на площадках, оборудованных для уборки.

Парковые насаждения.

Неповторимый облик каждого парка определяет преобладающая растительность и микроклиматические особенности, обусловленные его расположением относительно окружающей застройки. Близко расположенные к границам парков здания создают теневые зоны, неблагоприятные для развития растений и реже посещаемые людьми. Более подробно значение микроусловий для развития отдельной парковой зоны рассмотрено на примере Центрального парка [Мингалёва и др., 2019].

Растительность Центрального городского парка представлена березовым насаждением, встречаются осины, рябины, ивы, единично — ель и сосна в подросте (рис. 3 *а*). Особенным украшением парка являются многоствольные березы (от 2 до 7 стволов). Разреженные кроны деревьев создают оптимальные условия затененности в парке. Естественный травяной покров густой (плотность 100 %), хорошо защищает почву от размыва и вытаптывания, повышает устойчивость экосистемы и декоративность ландшафта. На участке парка вдоль ул. Ферсмана в сочетании с осиной высажены группы лиственницы и кедра сибирского (сосны сибирской), которые образуют тенистую полосу хвойного леса и одновременно украшают центральную часть города. Декоративные кустарники высажены по краю углового сквера: спиреи образуют живую изгородь, а куртины сирени оформляют входы в парк. Кустарниковый ярус выполняет также защитную функцию, задерживая пыль и ослабляя ветровое воздействие на границе парка. Сомкнутые посадки кустарника перекрывают интервал от поверхности почвы до крон деревьев, создавая сплошную зеленую стену, экранирующую выхлопные газы и шум прилегающих транспортных магистралей.



а *б*

Рис. 3. Соотношение основных пород древесных насаждений в парках города Апатиты

Основой Пушкинского парка является сосново-березовое насаждение, встречаются осины и рябины, занимающие второй ярус, единичны — ель, ива (рис. 3 *б*). Декоративный кустарник — шиповник высажен в зоне тихого отдыха вдоль стороны парка, граничащей с ул. Дзержинского. Густота травяного покрова

определяется условиями затененности: по границе парка, вдоль ул. Пушкина, плотность 100 %, по южной границе вдоль дворового проезда — 80 %, в затененной зоне имеются участки, на которых травянистый ярус отсутствует.

Плоды и семена деревьев и кустарников являются кормовой базой для птиц и белок, а кроны — местом укрытия и обитания. Это позволяет посетителям вести круглогодичные наблюдения за окружающим миром непосредственно в городской черте во время ежедневных прогулок, способствует развитию познавательного процесса и общению с природой. Население активно привлекает белок и птиц на территорию парков, устанавливает кормушки, обеспечивает кормом и таким образом общается с животными. Особенно ценны такие возможности для групп городского населения с малой мобильностью, в том числе для посетителей с детьми, пожилых людей.

Городские парки представляют собой устойчивые саморазвивающиеся экосистемы. Древостои парков по оценке жизнеустойчивости, в соответствии с методикой Н. М. Тюльпанова [1975], относятся ко II классу — доля здоровых деревьев составляет не менее 50 %, рост явно замедленный. Парки не требуют дорогостоящего обслуживания — полива, прополки, рыхления почвы, внесения удобрений, высаживания рассады, тем не менее экосистеме парка в городских условиях необходим минимальный, но грамотный периодический уход — проведение санитарных рубок не реже одного раза в 5–10 лет и рубок формирования [Святковская, 2007]. Выявлена необходимость удаления старых, больных, поврежденных деревьев, сорных и нежелательных растений, прореживания подроста, ограждения и ухода за ценными и молодыми экземплярами растений.

По результатам проведенной инвентаризации состояние растительности в городских парках требует проведения ландшафтной реконструкции. Наиболее актуальна эта задача для Центрального парка, где велика доля старых березовых деревьев, составляющих основу растительного сообщества. Такие экземпляры зафиксированы практически на всех учетных участках, и в целом по территории парка составляют 15 % от всех деревьев. Отмечено наличие сухостойных и упавших стволов, сломанных вершин, повреждений древесным грибом (чага), дупел, морозобойных трещин (50 % деревьев парка). Вдоль центральной аллеи парка имеются участки с буреломом — повалены и сломаны стволы ивы. Наблюдается загущение насаждения по опушкам полян и по внешним границам парков. Обильную поросль дают ивы, осина, рябина. Отмечено кольцевое расположение всходов рябины вокруг отдельно стоящих деревьев. У взрослых деревьев на территориях двух парков отмечены искривления стволов и нарушение симметрии крон в результате усыхания затененных ветвей и доминирующего развития хорошо освещенных.

На территории Пушкинского парка повреждения стволов морозобойными трещинами обнаружены у 20 % деревьев, не отмечено сухостойных и сломанных экземпляров, травянистый ярус на четверти территории находится в угнетенном состоянии или отсутствует из-за затененности и вытаптывания.

Сложившаяся практика эксплуатации зеленых зон, находящихся в ведении администрации города, в том числе общественных парков, не предусматривает в комплексных планах необходимых объемов и режима проведения санитарных мероприятий [Муниципальная…, 2017]. Не ведется постоянный мониторинг состояния насаждений зеленых зон, чему причиной можно считать недостаточное финансирование данных мероприятий.

Посещаемость парков.

Анализ данных мониторинга посещаемости парков показал, что ежедневно каждый парк, несмотря на различия в площади, принимает 600–800 человек (рис. 4), из них от 30 до 60 % составляют транзитные посетители. Общая посещаемость парков возрастает к середине недели.

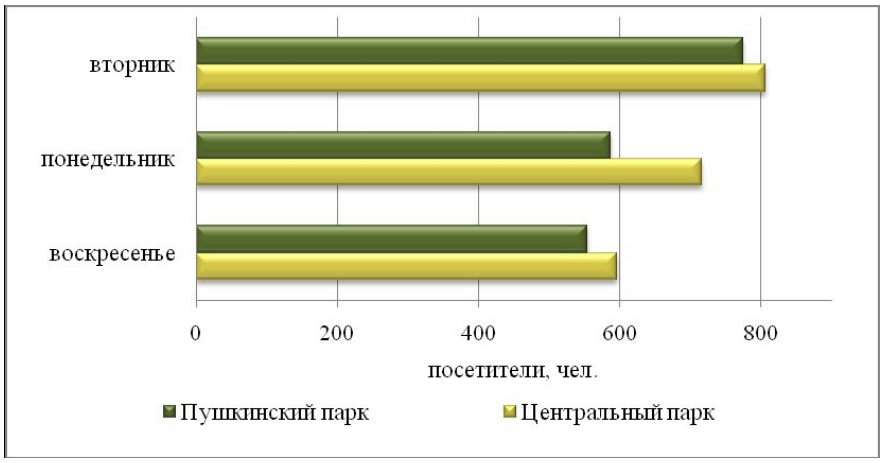


Рис. 4. Посещаемость парков города Апатиты в различные дни недели

Режим посещения зеленых зон имеет несколько суточных пиков, но в целом количество посетителей увеличивается к концу дня (рис. 5). Возрастная структура посетителей представлена в широком диапазоне — от малышей до года до пожилых людей старше 80 лет. В парках практически всегда присутствуют представители всех возрастных категорий. В утренние часы мало подростков и гуляющих с детьми. После 13 часов количество молодежи в парке значительно возрастает. Во второй половине дня люди в возрасте до 30 лет составляют половину от всех посетителей.

В выходные дни посещаемость городских парков ниже, чем в будни, что объясняется отъездом части населения за город. Меняется и суточный режим посещаемости. В качестве примера рассмотрены диаграммы посещаемости в воскресный день (рис. 5 *а*, *в*) и во вторник (рис. 5 *б*, *г*). В воскресный день пики посещаемости запаздывают и ниже по абсолютным значениям, чем в будни (рис. 5 *а*, *в*). Максимум посещаемости смещается на вторую половину дня, люди позже встают. Посетители с детьми до года приходят в парк после 12 часов.

В будние дни посетители появляются в парке с утра. Четко выражены два суточных максимума и дневной минимум с 14 до 15 часов — время обеда и отдыха. Общую тенденцию можно охарактеризовать следующим образом: с 12 и до 18 часов часов количество посетителей парка увеличивается, позже начинает резко убывать (за счет групп старших возрастов). Подростки стабильно присутствуют в парке во второй половине дня, часто, собираясь компаниями, беседуют, слушают музыку, многие из них добираются до парка на велосипедах, скейтбордах.

Необходимо отметить, что в Пушкинском парке по числу единовременных посетителей часто наблюдается превышение установленных нормативов, составляющих от 70 до 100 человек на гектар [Об утверждении…, 2011].

Перегруженность Пушкинского парка объясняется отсутствием альтернативных общественных площадок для отдыха в южном и юго-западном сегментах города. Пешеходная улица Дзержинского может выполнять лишь транзитную функцию для пропуска потока пешеходов между микрорайонами.

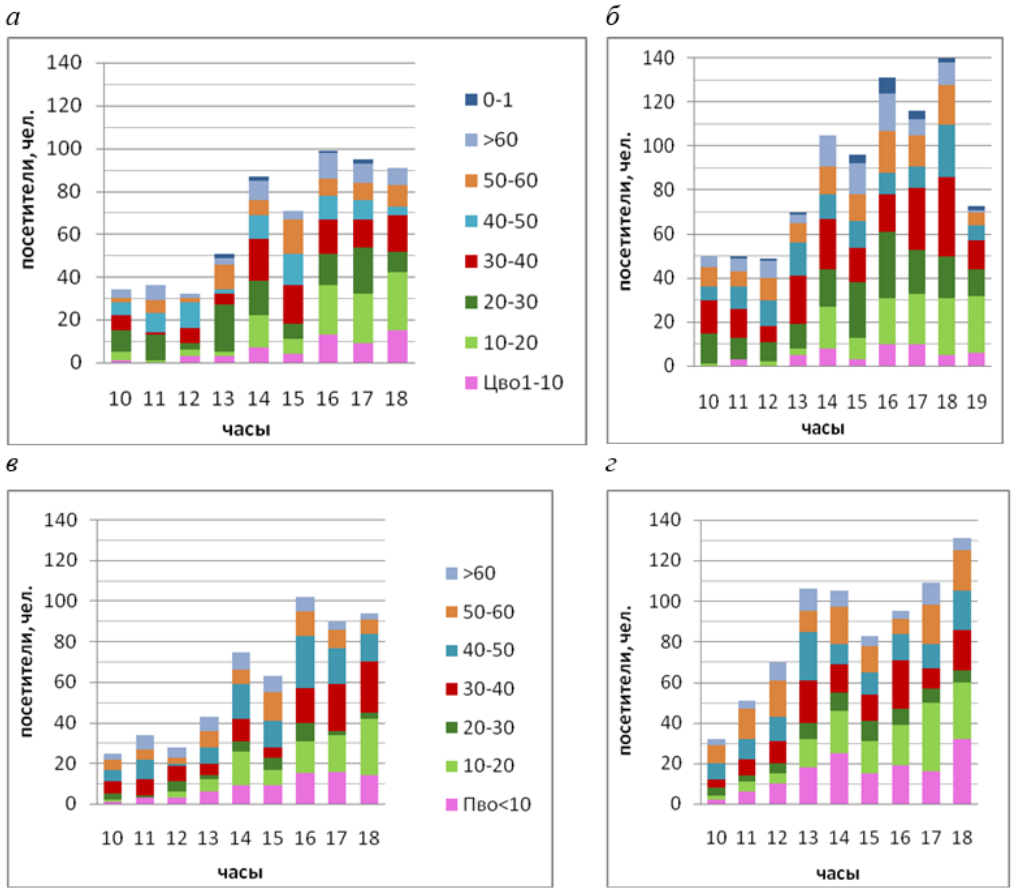
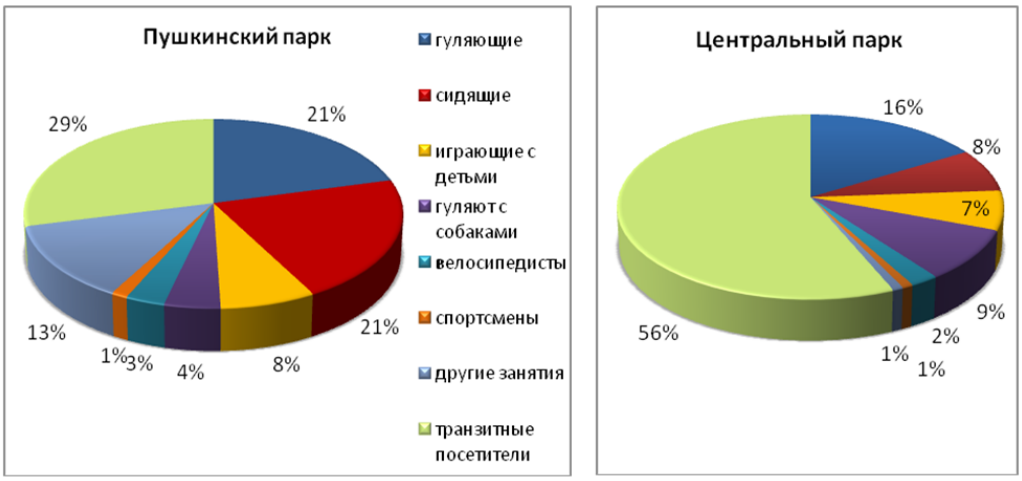


Рис. 5. Динамика посещаемости парков в городе Апатиты в течение дня. Цветом в столбцах диаграмм выделены возрастные градации с дробностью 10 лет, исключение составляет группа до 1 года, вынесенная в конец ряда (Центральный парк).
Центральный парк: *а* — воскресенье, *б* — вторник. Пушкинский парк: *в* — воскресенье, *г* — вторник

Есть и различия в характере посещаемости между парковыми площадками. В Центральном парке чаще наблюдаются продолжительные посещения группами, постоянно приходят пары, чтобы уединиться и побеседовать в спокойной обстановке. В Пушкинском парке гораздо больше кормушек, посетители приносят корм для его обитателей и рассматривают животных вблизи. Особой популярностью в парке пользуется сквер с памятником А. С. Пушкину, его показывают гостям, фотографируются рядом с ним. Пушкинский парк реже посещает возрастная категория от 20 до 30 лет, в то время как в Центральном она стабильно присутствует (рис. 5 *а*, *б*).

Характерно, что почти все посетители выбирают для отдыха места в стороне от дорожек. Часто посетители переносят лавки и размещают их на полянах за полосой деревьев или кустарников, чтобы в процесс отдыха не вторгались прохожие. Пожилые люди любят погреться на солнышке, понаблюдать за занятиями других посетителей, особенно за игрой детей, поэтому чаще выбирают лавочки на открытых местах с хорошим обзором и рядом с игровыми площадками. Скамейки вокруг игровых площадок редко пустуют, имеет смысл увеличить их количество и расширить модельный ряд для удобства разных категорий посетителей. Для размещения групп и компаний разумно организовать установку лавочек полукругом на отдельных площадках. Практикуемое размещение скамеек на дорожках парка неудобно для сидящих и стесняет пешеходов, поэтому для малых парков нужно внедрять другие варианты организации мест тихого отдыха.

Многие посетители парка приходят по 2–3 раза в день, чтобы получить оздоровительный эффект, в основном это пожилые люди. Некоторые из них добираются из удаленных микрорайонов города и проводят в пределах парковой экосистемы до трех часов. В течение 1–2 часов гуляют в парке посетители с детьми, курсируя между игровыми площадками, полянами. Лужайки в глубине парка предпочитают гуляющие с колясками, беседующие или читающие посетители (рис. 6). Транзитные посетители парка включают его территорию как участок своего маршрута. Некоторые из них пересекают парк несколько раз в день, используя как кратчайший путь к месту следования, другие проходят по парку не спеша, часто задерживаются в нем для беседы со знакомыми или отдыха.



а *б*

Рис. 6. Характерные занятия посетителей парков города Апатиты

В Пушкинском парке количество транзитных посетителей меньше в два раза, меньше гуляющих с собаками, больше сидящих. Чаще всего внимание привлекает сквер с памятником, много кормушек для птиц и белок — категория «другие занятия» на диаграмме.

В Центральном парке в большей степени практикуется продолжительный семейный отдых или в компании. Посетители с собаками появляются регулярно, выполняя функцию патруля, заходя в удаленные уголки парка или обходя территорию по периметру. Многие убирают за своими питомцами следы их пребывания в парке, соблюдая интересы других гостей. Часто проходят добровольные акции посетителей по сбору накопившегося мусора. Завсегдатаи, предварительно восстановив порядок в излюбленных уголках парка, с удовольствием проводят время и в тени хвойных деревьев и на полянах в стороне от дорожек. Большой поток транзитных посетителей обусловлен примыканием к парку деловых, административных, культурных, торговых объектов, а также маршрутов и остановок общественного транспорта. Оптимизация структуры территории парка в будущем будет предусматривать разграничение зон интересов посетителей. Еще одной задачей для организации перемещения посетителей в Центральном парке являются маршруты к ранее существовавшим выходам из парка. Кроме того, что они привычны для людей и находятся напротив входов во дворы, их поверхность не зарастает из-за многолетнего уплотнения почвы и продолжает направлять посетителей в сторону забора, который преодолевается различными способами детьми и взрослыми. Такие ситуации отмечаются от 2 до 5 раз ежечасно, неожиданное появление пешеходов на проезжей части создает угрозу здоровью и жизни участников дорожного движения по ул. Московская. Также часто преодолевается ограда парка со стороны ул. Ленина между зданиями гостиницы и администрации города, хорошо проторенная тропа свидетельствует о необходимости организации выхода из парка в данном месте.

Социально-общественное значение парков.

Общественные парки обеспечивают городу целый комплекс экологических услуг, одновременно являясь общественной площадкой, доступной для всех слоев населения. Отличия в качестве городской среды в пределах зеленых зон делают их привлекательными для отдыха и досуга. Особенности микроклимата парков заключаются в смягчении температурных перепадов, ветрового режима и инсоляции. Парковые территории наиболее предпочтительны для продолжительного отдыха и снятия стрессовых состояний, поскольку многоярусная растительность хорошо экранирует городской пейзаж, шум улиц и транспортных потоков, загрязнения воздушной среды. В парке повышается влажность и ионизация воздуха, присутствуют фитонциды. Смешанный породный состав растительности обеспечивает оптимальный микроклимат парка.

Для условий Заполярья актуальна возможность полноценного использования территорий парков в холодный период года, при длительном накоплении снежного покрова. На текущий момент в Апатитах во время продолжительного зимнего периода большая часть территории парков бездействует, поскольку недоступна для посетителей, хотя пребывание в парке зимой не менее интересно и полезно, чем в летний период. Большая часть дорожек и игровые зоны не очищаются от снега, не сооружаются трассы для лыжных прогулок и катки, снежные городки и горки. Городской парк, если его территория устроена правильно, может выполнять свои функции круглогодично. Оптимизация пространства парков для эксплуатации в период со снежным покровом рекомендуется авторами в качестве направления развития потенциальных рекреационных возможностей города.

Тематические скверы являются мемориальной, исторической, культурной доминантой парковых зон и совпадают по содержанию с окружающей городской территорией. Скверы парков обладают большим образовательным и воспитательным потенциалом, который в настоящее время недооценивается и используется городом лишь отчасти. Так, в сквере Центрального парка расположена памятная стела и барельеф, посвященные строителям города. Сквер развернут в сторону одной из центральных улиц города. В нем перед барельефом, находящимся на возвышении, расположен амфитеатр из ступеней-скамеек и отдельно стоящие лавочки по боковым сторонам. Пространство уже организовано так, чтобы использовать его для проведения камерных тематических мероприятий. Например, в сквере возможна организация концертов, культурных, исторических, поэтических программ, диспутов, образовательных мероприятий — семинаров, уроков, встреч.

Определенное оживление в культурную жизнь города внесло появление в конце 2017 г. памятника А. С. Пушкину работы З. Церетели, установленного по инициативе и на средства частного лица в Пушкинском парке. Установка памятника, сооружение входной группы с площадкой, освещение периметра парка и основных дорожек, организация зоны тихого отдыха, а также новые скамейки украсили территорию парка и привлекли новых посетителей. Сразу после благоустройства в парке было организовано несколько культурных мероприятий. Но в обиход горожан это не вошло и пока не стало традиционным для города, хотя все возможности для этого имеются. К скверу примыкает пешеходная улица и тротуар ул. Пушкина, на противоположной стороне которой расположены школа, детский сад, Центральная городская библиотека им. Пушкина. В непосредственной близости находится юношеская библиотека и несколько образовательных учреждений. Таким образом, Пушкинский парк обладает потенциалом культурной общественной площадки города.

Инновационный подход к организации территории парков может увеличить интенсивность их использования, при этом будут сохранены устойчивые парковые экосистемы и комфортные условия для всех групп посетителей. По результатам мониторинга на территории городских парков выявлены резервные участки, загущенные подростом, занятые тропами, стихийно организованными площадками для отдыха, затененные зоны. Эти участки, при компактном оборудовании, можно использовать для организации активного и тихого отдыха посетителей. По действующим региональным нормативам градостроительного проектирования под инфраструктуру может быть занято до 20 % площади зеленой зоны.

Необходимым условием для оптимального использования потенциала зеленых зон является сохранение их сопряжения в единую систему, что было достигнуто в городе Апатиты усилиями предыдущих поколений, соответствует нормативам и заложено в планировке городского пространства. Задача современного этапа в том, чтобы с минимальными затратами восстановить рекреационные функции озелененных городских зон в соответствии с их официальным статусом и согласно действующему генеральному плану развития города [Карта…, 2017]. Наблюдается дисбаланс в обеспечении районов города зеленой инфраструктурой. Явная потребность в организации озелененных благоустроенных площадок существует в юго-западном сегменте города — 2-й и 6-й микрорайоны (рис. 1) —

и в районе «Старых Апатитов». Экологическая ситуация в них осложняется соседством с оживленными транспортными магистралями и развязками, обширными массивами гаражных хозяйств и технических объектов.

Заключение

Общественные парки малого города могут быть определены как многофункциональные объекты. Парки являются общественными площадками, зонами коммуникативной активности населения и одновременно с этим создают комфортную, безопасную окружающую среду в черте города. Оба городских парка — Центральный и Пушкинский — располагают большими возможностями для проведения на их территории социально значимых мероприятий. Их посещение популярно среди всех возрастных категорий населения города, а для некоторых групп они являются местом ежедневного отдыха.

Растительные сообщества городских парков обеспечивают посетителям возможность вести наблюдения за природой. Состояние растительности парков определено как удовлетворительное и устойчивое, при этом отмечен недостаточный уход за зеленой зоной, имеются участки с загущенным подростом, есть поврежденные, усохшие растения. Существует необходимость в проведении санитарных рубок и ландшафтной реконструкции парков.

Инфраструктура парков определяет разнообразие форм отдыха и на данном этапе нуждается в совершенствовании, обновлении, периодическом ремонте оборудования. Инвентаризация территорий выявила потенциал парков для развития инфраструктуры в объеме 6–8 % от их площади. Планировка территории может быть модифицирована с учетом данных мониторинга посещаемости. В первую очередь требуется сократить зоны пересечения интересов посетителей, чтобы повысить комфортность пребывания и удобство использования парковых территорий. Выявленный суточный и недельный режим посещаемости позволит определить объемы дополнительного оснащения игровых и физкультурных площадок, увеличить количество прогулочных маршрутов и рационально разместить по территории парка зоны тихого отдыха.

Результаты изучения экологического и социального потенциала общественных парков позволяют определить данные территории как необходимые элементы жизненного пространства, а также являются обоснованием увеличить объемы финансовых вложений в развитие зеленых зон города. Необходима организация еще нескольких городских парков и садов, чтобы снять чрезмерную нагрузку на Пушкинский парк и равномерно обеспечить потребности жителей всех микрорайонов. В конечном итоге возрастет и качественно изменится рекреационная составляющая города, а социальная обстановка станет более благоприятной.

Исследования выполнены в рамках госзадания ИППЭС КНЦ РАН.

Литература

Атлас Мурманской области. М.: ГУГК – СССР, 1971. 33 с.

Боговая И. О., Теодоронский В. С. Озеленение населенных мест. М.: Агропромиздат, 1990. 226 с.

Городские зеленые зоны: краткое руководство к действию / Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро. Копенгаген, 2017. 24 с.

Зеленое строительство в городах Мурманской области / О. Б. Гонтарь [и др.]. Апатиты: КНЦ РАН, 2010. 224 с.

Карта градостроительного зонирования города Апатиты, 30.05.2017. URL: https://apatity.gov-murman.ru/regulatory/grad/karta-gradostroitelnogo-zonirovaniya.jpg/ (дата обращения: 30.09 2019).

Костина В. А., Святковская Е. А. Содержание зеленых насаждений в парках культуры и отдыха на Кольском Севере // Экология большого города: альманах № 8. М., 2003. С. 155–161.

Курбатова А. С. Ландшафтно-экологический анализ формирования градостроительных структур. Смоленск: Маджента, 2004. 400 с.

Лунц Л. Б. Городское зеленое строительство. М.: Стройиздат, 1952. 280 с.

Методика инвентаризации городских зеленых насаждений / Минстрой России. М.: АКХ, 1997.

Методическое руководство и технические условия по реконструкции городских зеленых насаждений. М.: МГУЛ, 2001.

Мингалёва Т. А., Горячев А. А., Мингалёва Е. И. Выявление основных факторов влияния на развитие городских зеленых зон с применением ГИС-технологий // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: материалы междунар. конф. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2019. Т. 25. Ч. 1. С. 197–205. URL: http://doi.org/10.35595/2414-9179-2019-1-25-197-205 (дата обращения: 30.09 2019).

Муниципальная программа города Апатиты «Охрана окружающей среды» на 2018–2020 годы. URL: https://apatity.gov-murman.ru/useful/strat_plan/programs/mun-prog-1719/ (дата обращения: 21.09.2019).

Об утверждении региональных нормативов градостроительного проектирования Мурманской области: постановление Правительства Мурманской обл. от 01.07.2011 № 334-ПП.

Практическое руководство по озеленению городов и поселков Мурманской области / отв. ред. Т. А. Козупеева. Апатиты: Кировский рабочий, 1970. 52 с.

Святковская Е. А. Формирование садово-парковых ландшафтов в городах Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2007. 102 с.

Тюльпанов Н. М. Лесопарковое хозяйство. Л.: Стройиздат, 1975. 163 с.

Экология города / под ред. А. С. Курбатовой, В. Н. Башкина, Н. С. Касимова. М.: Научный мир, 2004. 624 с.

Юскевич Н. Н., Лунц Л. Б. Озеленение городов России. М.: Россельхозиздат, 1986. 158 с.

Сведения об авторах

Мингалёва Татьяна Анатольевна
ведущий инженер Института проблем промышленной экологии Севера
ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты,
e-mail: mingalevat@mail.ru
Горячев Андрей Александрович
младший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера
ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук», Апатиты,
e-mail: andrej.goria4ev@yandex.ru

Мингалёва Екатерина Игоревна
студентка Института № 6 «Аэрокосмический» Московского авиационного института;
e-mail: mingaleva2001@mail.ru
Мингалёв Александр Игоревич
студент кафедры физики, биологии, инженерных технологий
филиала Мурманского арктического государственного университета в г. Апатиты

Tatiana A. Mingaleva
Leading Engineer of the Institute of the Industrial Ecology Problems of the North
of the Kola Science Centre of RAS; e-mail: mingalevat@mail.ru
Andrey A. Goryachev
Junior Research assistant of the Institute of the Industrial Ecology Problems
of the North of the Kola Science Centre of RAS; e-mail: andrej.goria4ev@yandex.ru
Ekaterina I. Mingaleva
Student of Institute No. 6 «Aerospace» of Moscow aviation Institute;
e-mail: mingaleva2001@mail.ru
Aleksandr I. Mingalev
Student of Department of physics, biology, engineering technologies
of Murmansk Arctic State University Apatity branch

РИО
КНЦ
naukaprint.ru