

2019

Т. 11, № 4

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ
И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ



БИОСФЕРА

ISSN 2077-1371 / www.21bs.ru

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
И ТИТАНОСИЛИКАТЫ КОЛЬСКИХ
ХИБИН: ОТ БИОНИКИ К ГЕОНИКЕ**
С.В. Кривовичев, А.И. Николаев,
В.Н. Яковенчук, Ю.Г. Покровский,
Л.П. Чурилов, В.Ф. Марарица,
Ю.Т. Демидов

*TACKLING THE ENVIRONMENTAL
PROBLEMS OF THE ARCTIC COAST BY
MAKING USE OF TITANIUM SILICATES
OF KOLA Khibiny: FROM BIONICS
TOWARDS GEONICS*

*S.V. Krivovichev, A.I. Nikolayev,
V.N. Yakovenchuk, Yu.G. Pokrovsky,
L.P. Churilov, V.F. Mararitsa,
Yu.T. Demidov*

**ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА
ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ
ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА КУЭТСЬЯРВИ
(СИСТЕМА РЕКИ ПАСВИК,
МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Е.М. Зубова, Н.А. Кашулин,
В.А. Даувальтер, Д.Б. Денисов,
С.А. Валькова, О.И. Вандыш,
П.М. Терентьев, А.А. Черепанов
*LONG-TERM CHANGES IN THE MAIN
COMPONENTS OF KUOTSJÄRVI LAKE
ECOSYSTEM (PASVIK RIVER SYSTEM,
MURMANSK OBLAST, RUSSIA)*
*Ye.M. Zubova, N.A. Kashulin,
V.A. Dauvalter, D.B. Denisov,
S.A. Val'kova, O.I. Vandysh,
P.M. Terentyev, A.A. Cherepanov*

**Н.И. ВАВИЛОВ
КАК ОРГАНИЗАТОР НАУКИ**

Э.В. Трускинов
*N.I. VAVILOV
AS AN ORGANIZER OF SCIENCE*
E.V. Truskinov



© ФОНД НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ «XXI ВЕК»
РОССИЙСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

БИОСФЕРА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЖУРНАЛ
ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЗНАНИЯ И СОХРАНЕНИЯ БИОСФЕРЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ РЕСУРСОВ

Том 11, № 4

Санкт-Петербург

2019



BIOSPHERE

INTERDISCIPLINARY JOURNAL OF BASIC AND APPLIED SCIENCES DEDICATED
TO COMPREHENSION AND PROTECTION OF THE BIOSPHERE AND TO USAGE OF RESOURCES THEREOF

Vol. 11, No. 4

Saint Petersburg

2019

© «XXI CENTURY» RESEARCH FOUNDATION
RUSSIAN ECOLOGICAL ACADEMY

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

EDITORIAL BOARD

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Э.И. Слепян (С.-Петербург)

EDITOR-IN-CHIEF

E.I. Slepian (Saint Petersburg)

ЗАМЕСТИТЕЛЬ

ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

А.Г. Голубев (С.-Петербург)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

A.G. Golubev (Saint Petersburg)

СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:

И.М. Татарникова

EDITORIAL SECRETARY:

I.M. Tatarnikova

ДИЗАЙН: Ю.С. Братишко

DESIGN: *Y.S. Bratishko*

ВЕРСТКА: Т.А. Слащева

LAYOUT: *T.A. Slascheva*

КОРРЕКТОР: Н.А. Натарева

PROOFREADING: *N.A. Natarova*

АДМИН САЙТА:

И.В. Перескоков

SITE ADMIN: *I.V. Pereskokov*

РОССИЙСКОЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО В РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

DOMESTIC EDITORIAL BOARD

В.Н. Большаков (Екатеринбург) *V.N. Bolshakov (Ekaterinburg)*

Л.Я. Боркин (С.-Петербург) *L.Ja. Borkin (Saint Petersburg)*

А.К. Бродский (С.-Петербург) *A.K. Brodsky (Saint Petersburg)*

Ю.С. Васильев (С.-Петербург) *Yu.S. Vasilyev (Saint Petersburg)*

Р.М. Вильфанд (Москва) *R.M. Vilfand (Moscow)*

Б.В. Гайдар (С.-Петербург) *B.V. Gaidar (Saint Petersburg)*

Э.М. Галимов (Москва) *E.M. Galimov (Moscow)*

В.А. Драгавцев (С.-Петербург) *V.A. Dragavtsev (Saint Petersburg)*

Г.В. Жижин (С.-Петербург) *G.V. Zhizhin (Saint Petersburg)*

Г.А. Ивахненко (С.-Петербург) *G.A. Ivakhnenko (Saint Petersburg)*

Г.А. Исаченко (С.-Петербург) *G.A. Isachenko (Saint Petersburg)*

Н.Н. Марфенин (Москва) *N.N. Marfenin (Moscow)*

Ю.К. Новожилов (С.-Петербург) *Yu.K. Novozhilov (Saint Petersburg)*

Г.В. Осипов (Москва) *G.V. Osipov (Moscow)*

В.А. Павлюшин (С.-Петербург) *V.A. Pavliushin (Saint Petersburg)*

К.М. Петров (С.-Петербург) *K.M. Petrov (Saint Petersburg)*

О.Н. Пугачев (С.-Петербург) *O.N. Pugachev (Saint Petersburg)*

Ю.А. Рахманин (Москва) *Yu.A. Rakhmanin (Moscow)*

А.А. Редько (С.-Петербург) *A.A. Redko (Saint Petersburg)*

Г.С. Розенберг (Тольятти) *G.S. Rozenberg (Togliatti Russia)*

А.В. Селиховкин (С.-Петербург) *A.V. Selikhovkin (Saint Petersburg)*

Г.А. Софронов (С.-Петербург) *G.A. Sofronov (Saint Petersburg)*

В.М. Тарбаева (С.-Петербург) *V.M. Tarbayeva (Saint Petersburg)*

И.А. Тихонович (С.-Петербург) *I.A. Tikhonovich (Saint Petersburg)*

М.Д. Уфимцева (С.-Петербург) *M.D. Ufimtseva (Saint Petersburg)*

Г.Н. Фельдштейн (С.-Петербург) *G.N. Feldstein (Saint Petersburg)*

Л.П. Чурилов (С.-Петербург) *L.P. Churilov (Saint Petersburg)*

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

INTERNATIONAL
ADVISORY BOARD

М.Д. Голубовский (Окленд, США)

M.D. Golubovsky (Oakland, CA, USA)

М. Клявинш (Рига, Латвия)

M. Klavins (Riga, Latvia)

К. Оболевский

(Быгдоць, Польша)

K. Obolevsky (Bydgoszcz, Poland)

Я. Олексин (Курник, Польша)

J. Oleksyn (Kornik, Poland)

А.А. Протасов (Киев, Украина)

A.A. Protasov (Kiev, Ukraine)

В. Реген (Берлин, Германия)

W. Regen (Berlin, Germany)

Ю.Г. Тютюнник (Киев, Украина)

Yu.G. Tyutyunnik (Kiev, Ukraine)

О. Чертов

(Бинген-на-Рейне, Германия)

O. Chertov

(Bingen am Rhein, Germany)

Журнал зарегистрирован

Федеральной службой
по надзору в сфере связи
и массовых коммуникаций:
ПИ № ФС77-32791

от 08 августа 2008 г.

Registered by RF Federal Service
for Communication and Mass
Media Surveillance on 08 August
2008 as PI No FS77-32791

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

197110, Санкт-Петербург,
Большая Разночинная ул., д. 28;
Тел./факс: (812) 415-41-61
Эл. почта: biosphaera@21mm.ru
Электронная версия:
<http://21bs.ru> (ISSN 2077-1460)

POSTAL ADDRESS:

28 Bolshaya Raznochinnaya, 197110,
Saint Petersburg, Russia;
Phone/fax: +7 (812) 415-41-61;
E-mail: biosphaera@21mm.ru
Online version:
<http://21bs.ru> (ISSN 2077-1460)

СОДЕРЖАНИЕ

A3

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

A4

СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 11

COMBINED CONTENTS OF VOL. 11

4:161

ПРАКТИКА / PRACTICE

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ И ТИТАНОСИЛИКАТЫ КОЛЬСКИХ ХИБИН: ОТ БИОНИКИ К ГЕОНИКЕ

С.В. Кривовичев, А.И. Николаев, В.Н. Яковенчук, Ю.Г. Покровский, Л.П. Чурилов, В.Ф. Марарица, Ю.Т. Демидов

TACKLING THE ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE ARCTIC COAST BY MAKING USE OF TITANIUM SILICATES OF KOLA Khibiny: FROM BIONICS TOWARDS GEONICS

S.V. Krivovichev, A.I. Nikolayev, V.N. Yakovenchuk, Yu.G. Pokrovsky, L.P. Churilov, V.F. Mararitsa, Yu.T. Demidov

4:171

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СРЕДСТВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ В ЛАБОРАТОРНОМ И ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

А.О. Герасимов, М.В. Чугунова, Ю.М. Поляк
THE SEASONAL CHANGES IN THE CONTENT OF DE-ICING SALTS IN SOD-PODZOL SOIL IN LABORATORY AND FIELD EXPERIMENTS

A.O. Gerasimov, M.V. Chugunova, Y.M. Polyak

ПРИРОДА / NATURE

4:178

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА КУЭТСЬЯРВИ (СИСТЕМА РЕКИ ПАСВИК, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.М. Зубова, Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер, Д.Б. Денисов, С.А. Валькова, О.И. Вандыш, П.М. Терентьев, А.А. Черепанов

LONG-TERM CHANGES IN THE MAIN COMPONENTS OF KUOTSJÄRVI LAKE ECOSYSTEM (PASVIK RIVER SYSTEM, MURMANSK OBLAST, RUSSIA)

Ye.M. Zubova, N.A. Kashulin, V.A. Dauvalter, D.B. Denisov, S.A. Val'kova, O.I. Vandysh, P.M. Terentyev, A.A. Cherepanov

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ / PUBLIC HEALTH

4: 201

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ЧАСТОТА АУТОИММУННОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ СРЕДИ ДЕТЕЙ РОССИИ

Л.А. Сопрун, И.М. Акулин, А.Н. Гвоздецкий, Ю.И. Строев, В.И. Утехин, Л.П. Чурилов

MICROELEMENTS AND REGIONAL INCIDENCE OF AUTOIMMUNE THYROID DISEASE IN CHILDREN IN RUSSIA

L.A. Soprun, I.M. Akulin, A.N. Gvozdetskiy, V.I. Utekhin, Yu.I. Stroyev, L.P. Churilov

4:211

ОСНОВНЫЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У ЛЕТНОГО СОСТАВА НА РАЗНЫХ СРОКАХ СЛУЖБЫ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Г.Г. Загородников, А.Е. Коровин, В.Г. Миронов, Г.Н. Загородников, Д.В. Товпеко, Л.П. Чурилов

THE MAIN HEMATOLOGICAL AND METABOLIC CHARACTERISTICS OF PERIPHERAL BLOOD IN MILITARY PILOTS AT DIFFERENT TERMS OF THEIR SERVICE IN ARCTIC

G.G. Zagorodnikov, A.Ye. Korovin, V.G. Mironov, G.N. Zagorodnikov, D.V. Tovpeko, L.P. Churilov

НАСЛЕДИЕ / HERITAGE

4:227

Н.И. ВАВИЛОВ КАК ОРГАНИЗАТОР НАУКИ Э.В. Трускинов

N.I. VAVILOV AS AN ORGANIZER OF SCIENCE
E.V. Truskinov

ПРИЛОЖЕНИЯ / APPENDICES

A7

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ AUTHOR REFERENCES

A13

БЛАГОДАРНОСТЬ РЕЦЕНЗЕНТАМ ACKNOWLEDGEMENT TO REVIEWERS

СВОДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 11

Combined contents of volume 11

РЕДАКЦИОННЫЕ СТАТЬИ / EDITORIALS		
1:A4	СЕЛЕКЦИОННАЯ РАБОТА ДОЛЖНА ОБЕСПЕЧИВАТЬ ПРОДОВОЛЬСТВЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ С УПРЕЖДЕНИЕМ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В.А. Драгавцев <i>PLANT BREEDING MUST SECURE FOOD AVAILABILITY IN ADVANCE OF GLOBAL CLIMATE CHANGES</i> <i>V.A. Dragavtsev</i>	1:48
2:A5	РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ В КОНТЕКСТЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ОПЫТА И ТРАДИЦИЙ РУССКОЙ КУЛЬТУРЫ В.М. Тарбаева <i>DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL CULTURE IN THE CONTEXT OF NATIONAL EXPERIENCE AND TRADITIONS OF RUSSIAN CULTURE</i> <i>V.M. Tarbaeva</i>	2:87
ТЕОРИЯ / THEORY		
1:27	КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ КОЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА В.В. Меншуткин, В.Ф. Левченко <i>A COGNITIVE MODEL OF COEVOLUTION OF THE BIOSPHERE AND THE HUMAN SOCIETY</i> <i>V.V. Menshutkin, V.F. Levchenko</i>	3:120
2:75	ОЦЕНКИ РИСКОВ И УЩЕРБОВ КАК ИНСТРУМЕНТ СОЦИАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИИ Г.С. Розенберг, А.Г. Зибарев, Н.В. Костина, Г.Э. Кудинова, А.Г. Розенберг <i>RISK AND DAMAGE ASSESSMENT AS A TOOL OF SOCIAL ECOLOGY</i> <i>G.S. Rozenberg, A.G. Zibarev, N.V. Kostina, G.E. Kudinova, A.G. Rozenberg</i>	4:161
3:109	ЗЕМЛЕДЕЛИЕ – ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева <i>HUSBANDRY: ITS PAST, PRESENT AND FUTURE</i> <i>B.F. Aparin, Ye.Yu. Sukhacheva</i>	
ПРАКТИКА / PRACTICE		
1:40	ПОИСК ОСТАТОЧНЫХ ВЕЩЕСТВ ПЕСТИЦИДОВ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ – ПУТЬ К БЕЗОПАСНОМУ ПРОДОВОЛЬСТВУ М.О. Петрова, Т.Д. Черменская	4:171
	<i>CHECKING AGRICULTURAL PRODUCE FOR RESIDUAL PESTICIDE AS A PREREQUISITE OF FOOD SAFETY</i> <i>M.O. Petrova, T.D. Chermenskaya</i>	
	АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОСЛАБЛЕНИЯ ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ В РЕКРЕАЦИОННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ А.С. Алексеев, О.А. Ходачек, А.В. Селиховкин <i>AN ANALYSIS OF FACTORS THAT CAUSE CONIFEROUS STANDS TO DECAY IN RECREATION AREAS</i> <i>A.S. Alekseyev, O.A. Khodachek, A.V. Selikhovkin</i>	
	РОЛЬ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РЕШЕНИИ ПРИРОДООХРАННЫХ ЗАДАЧ ПРИ РАЗВИТИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА В.Н. Большаков, И.А. Кузнецова, А.В. Гилев, Л.А. Пустовалова, Е.Н. Подгаевская, Л.Н. Степанов <i>THE ROLE OF SPECIAL PROTECTED AREAS IN SOLVING OF NATURE CONSERVATION PROBLEMS ASSOCIATED WITH DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL TOURISM</i> <i>V.N. Bolshakov, I.A. Kuznetsova, A.V. Gilev, L.A. Pustovalova, Ye.N. Podgayevskaya, L.N. Stepanova</i>	
	СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ СУХОСТЕПНЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ МАНЫЧ Л.П. Ильина, К.С. Сушко <i>CURRENT PROBLEMS OF DRY-STEPPE SOIL DEGRADATION IN MANYCH VALLEY</i> <i>L.P. Ilyina, K.S. Sushko</i>	
	ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ И ТИТАНОСИЛИКАТЫ КОЛЬСКИХ ХИБИН: ОТ БИОНИКИ К ГЕОНИКЕ С.В. Кривовичев, А.И. Николаев, В.Н. Яковенчук, Ю.Г. Покровский, Л.П. Чурилов, В.Ф. Марарица, Ю.Т. Демидов <i>TACKLING THE ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE ARCTIC COAST BY MAKING USE OF TITANIUM SILICATES OF KOLA Khibiny: FROM BIONICS TOWARDS GEONICS</i> <i>S.V. Krivovichev, A.I. Nikolayev, V.N. Yakovenchuk, Yu.G. Pokrovsky, L.P. Churilov, V.F. Mararitsa, Yu.T. Demidov</i>	
	СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СРЕДСТВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ В ЛАБОРАТОРНОМ И ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТАХ А.О. Герасимов, М.В. Чугунова, Ю.М. Поляк	

THE SEASONAL CHANGES IN THE CONTENT OF DE-ICING SALTS IN SOD-PODZOL SOIL IN LABORATORY AND FIELD EXPERIMENTS

A.O. Gerasimov, M.V. Chugunova, Y.M. Polyak

ПРИРОДА / NATURE

1:19

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАВОДКОВ И НЕКОТОРЫХ БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОЛЛЮСКОВ СЕМЕЙСТВА BITHYNIIDAE – ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ХОЗЯЕВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ОПИСТОРХОЗА

А.С. Маюрова, М.А. Кустикова

A STUDY OF THE INFLUENCES OF RIVER FLOODS AND SOME BIOTIC FACTORS ON THE PREVALENCE OF BITHYNIIDAE SNAILS – INTERMEDIATE HOSTS OF CAUSATIVE AGENTS OF OPISTHORCHIASIS

A.S. Mayurova, M.A. Kustikova

2:63

ПОЧВЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛОЩАДОК И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕМУТАЦИЯ (НА ПРИМЕРЕ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ)

Ю.Г. Тютюнник, Л.М. Губарь, Н.А. Пашкевич, И.В. Гончаренко

SOILS OF INDUSTRIAL GROUNDS AND THEIR ECOLOGICAL DEMUTATION AS EXEMPLIFIED WITH SUGAR MILLS

Yu.G. Tyutyunnik, L.M. Gubar', N.A. Pashkevych, I.V. Goncharenko

3:128

ТОРФЯНЫЕ БОЛОТА И ИХ БИОСФЕРНАЯ РОЛЬ Л.И. Инишева, Е.В. Порохина, М.А. Сергеева, К.И. Кобак

PEATLANDS AND THEIR ROLE IN THE BIOSPHERE

L.I. Inisheva, Ye.V. Porokhina, M.A. Sergeyeva, K.I. Kobak

3:134

ОСОБЕННОСТИ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА БЫВШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЛЯХ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНА КАРЕЛИИ)

Е.В. Мошкина, М.В. Медведева, А.В. Туюнен, А.Ю. Карпечко, Н.В. Геникова, И.А. Дубровина, А.В. Мамай, В.А. Сидорова, О.В. Толстогузов, Л.М. Кулакова

PATTERNS OF NATURAL FOREST ECOSYSTEM REGENERATION IN ABANDONED FARMLAND (THE CASE OF THE SOUTHERN AGRO-CLIMATIC DISTRICT OF KARELIA)

Ye.V. Moshkina, M.V. Medvedeva, A.V. Tuyunen, A.Yu. Karpechko, N.V. Genikova, I.A. Dubrovina, A.V. Mamai, V.A. Sidorova, O.V. Tolstoguzov, L.M. Kulakova

4:178

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА КУЭТСЪЯРВИ (СИСТЕМА РЕКИ ПАСВИК, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.М. Зубова, Н.А. Кашулин, В.А. Даувальтер, Д.Б. Денисов, С.А. Валькова, О.И. Вандыш, П.М. Терентьев, А.А. Черепанов

LONG-TERM CHANGES IN THE MAIN COMPONENTS OF KUOTSJÄRVI LAKE ECOSYSTEM

(PASVIK RIVER SYSTEM, MURMANSK OBLAST, RUSSIA)

Ye.M. Zubova, N.A. Kashulin, V.A. Dauvalter, D.B. Denisov, S.A. Val'kova, O.I. Vandysh, P.M. Terentyev, A.A. Cherepanov

ОБЩЕСТВО / SOCIETY

1:1

ГЛОБАЛЬНЫЕ ГОРОДА: МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

И.А. Шмелева, С.Э. Шмелев

GLOBAL CITIES: MULTIPARAMETRIC EVALUATION OF THEIR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

I.A. Shmeleva, S.E. Shmelev

3:146

ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Е.Ю. Сухачева, Б.Ф. Апарин

POPULARIZATION OF SOIL SCIENCE

Ye.Yu. Sukhacheva, B.F. Aparin

ЗДРАВООХРАНЕНИЕ / PUBLIC HEALTH

4:201

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ЧАСТОТА АУТОИММУННОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ СРЕДИ ДЕТЕЙ РОССИИ

Л.А. Сопрун, И.М. Акулин, А.Н. Гвоздецкий, Ю.И. Строев, В.И. Утехин, Л.П. Чурилов

MICROELEMENTS AND REGIONAL INCIDENCE OF AUTOIMMUNE THYROID DISEASE IN CHILDREN IN RUSSIA

L.A. Soprun, I.M. Akulin, A.N. Gvozdetskiy, V.J. Utekhin, Yu.I. Stroyev, L.P. Churilov

4:211

ОСНОВНЫЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У ЛЕТНОГО СОСТАВА НА РАЗНЫХ СРОКАХ СЛУЖБЫ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ
Г.Г. Загородников, А.Е. Коровин, В.Г. Миронов, Г.Н. Загородников, Д.В. Товпеко, Л.П. Чурилов
 THE MAIN HEMATOLOGICAL AND METABOLIC CHARACTERISTICS OF PERIPHERAL BLOOD IN MILITARY PILOTS AT DIFFERENT TERMS OF THEIR SERVICE IN ARCTIC
 G.G. Zagorodnikov, A.Ye. Korovin, V.G. Mironov, G.N. Zagorodnikov, D.V. Tovpeko, L.P. Churilov

НАСЛЕДИЕ / HERITAGE

4:227

Н.И. ВАВИЛОВ КАК ОРГАНИЗАТОР НАУКИ Э.В. Трускинов
 N.I. VAVILOV AS AN ORGANIZER OF SCIENCE
 E.V. Truskinov

3:156

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ / SHORT COMMUNICATIONS

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АГРОЛАНДШАФТОВ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
Ю.А. Мажайский, Т.М. Гусева
 ECOLOGICAL PROBLEMS OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF RYAZAN REGION
 Yu.A. Mazhaysky, T.M. Guseva

РЕЦЕНЗИИ И ДИСКУССИИ / VIEWS AND REVIEWS

2:103

РАЗМЫШЛЕНИЯ НАД СТАТЬЕЙ В.В. МЕНШУТКИНА И В.Ф. ЛЕВЧЕНКО «КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ КОЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА»
Ю.Н. Сергеев, В.П. Кулеш
 CONTEMPLATIONS ON THE PAPER AUTHORED BY V.V. MENSHUTKIN AND V.F. LEVCHENKO «A COGNITIVE MODEL OF COEVOLUTION OF THE BIOSPHERE AND THE HUMAN SOCIETY»
 Yu.N. Sergeev, V.P. Kulesh



ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ И ТИТАНОСИЛИКАТЫ КОЛЬСКИХ ХИБИН: ОТ БИОНИКИ К ГЕОНИКЕ

**С.В. Кривовичев^{1, 3}, А.И. Николаев¹, В.Н. Яковенчук¹,
Ю.Г. Покровский², Л.П. Чурилов³,
В.Ф. Марарица^{4*}, Ю.Т. Демидов⁴**

¹ Федеральный исследовательский центр Кольского научного центра Академии наук РФ, Апатиты, Россия;

² ООО «Фарматитан СПбГУ»; ³ Санкт-Петербургский государственный университет;

⁴ Северо-Западный научно-производственный центр «Социум», Санкт-Петербург, Россия

* Эл. почта: vf-marar@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25.01.2019; принята к печати 15.01.2020

В связи с осуществляемой программой по очистке арктического побережья России от жидких радиоактивных отходов (ЖРО), накопленных за время функционирования атомного флота, возникает проблема дезактивации больших объемов регламентных ЖРО, а также малых и средних объемов ЖРО, для которых технологические регламенты переработки отсутствуют. В настоящее время не существует технологических процессов, позволяющих производить комплексную одностадийную очистку жидких радиоактивных отходов с возможностью дальнейшего долговременного захоронения продуктов очистки. Наши исследования показали, что для очистки нерегламентных ЖРО может быть успешно использован новый нанокристаллический сорбент ЛНТ-9 (слоистый титанат гидразина), способный удалять из водных растворов более 50 химических элементов, в том числе большинство радионуклидов, включая ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁹³Zr, ¹⁵¹Sm, ¹⁵⁴Eu, ⁹⁹Tc, ⁷⁹Se, ¹⁰⁷Pd, ¹²⁶Sn, ²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁹Pu, ²³⁷Np, ²⁴³Am. Быстрая одноактная очистка регламентных ЖРО реакторов водно-водяного энергетического типа от радионуклидов Cs, Sr и Co может быть проведена при помощи еще одного нового сорбента – минерала иванюкита (микропористый титаносиликат натрия), селективного в отношении этих элементов. Одновременное либо последовательное использование разработанных сорбентов с учетом их устойчивости в растворах любой кислотности-щелочности позволяет полностью решить проблему дезактивации и отверждения ЖРО практически любого химического состава. В статье вводится понятие «геоника» – инженерно-технологическое воспроизведение и использование уникальных свойств природных минералов для решения прикладных задач, по аналогии с бионикой.

Ключевые слова: арктическое побережье, титанатные сорбенты; жидкие радиоактивные отходы, минералоподобная керамика, одностадийная очистка, иванюкит, радионуклидные загрязнения.

TACKLING THE ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE ARCTIC COAST BY MAKING USE OF TITANIUM SILICATES OF KOLA Khibiny: FROM BIONICS TOWARDS GEONICS

**S.V. Krivovichev^{1, 3}, A.I. Nikolayev¹, V.N. Yakovenchuk¹, Yu.G. Pokrovsky², L.P. Churilov³,
V.F. Mararitsa^{4*}, Yu.T. Demidov⁴**

¹ Federal Research Center of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia;

² ООО «Фарматитан СПбГУ»; ³ Saint-Petersburg State University; and ⁴ North-West Research and Production Center «Sotsium», Saint Petersburg, Russia

* Email: vf-marar@mail.ru

The ongoing program of cleansing the Arctic Coast of Russia from liquid radioactive waste (LRW) accumulated in the course of nuclear fleet operation faces the problem of deactivation of huge amounts of routine LRW as well as small and medium volumes of LW, for which there are no technological regulations concerning their processing. Currently, there are no technological processes for a comprehensive one-stage treatment of

LRW in a way providing for the possibility of further long-term disposal of treatment products. Our studies have shown that a new nanocrystalline sorbent LHT-9 (layered hydrazin titanate) is capable of removing more than 50 chemical elements from aqueous solutions, including most radionuclides, namely ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{93}Zr , ^{151}Sm , ^{154}Eu , ^{99}Tc , ^{79}Se , ^{107}Pd , ^{126}Sn , ^{238}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{237}Np , and ^{243}Am , and thus may be successfully used for LRW treatment. Rapid one-stage purification of routine LRW produced by water-water energetic type reactors from radionuclides, such as Cs, Sr and Co, can be achieved using another new sorbent, i.e. ivanyukite mineral (microporous sodium titanosilicate), which is selective for these elements. Simultaneous or successive use of the newly developed sorbents, with account for their stability in solutions of any grade of acidity or alkalinity, provides for the complete solution of the problem of decontamination and curing of LRW of almost any chemical composition. A new term "geonics" is suggested, by analogy to bionics, to designate technological reproduction and use of unique properties of natural minerals.

Keywords: Arctic coast, titanate sorbents, liquid radioactive waste, mineral-like ceramics, one-stage purification, Ivanyukite, Radionuclide pollution.

Введение

В попытках понять новую идею, проникнуть в новый пласт знания порой бывает необходимо включить рассматриваемую проблему в более широкий контекст с пониманием того, что трактовка ее самой при этом несколько упрощается и даже искажается в допустимых пределах ради понимания ее сути, чего требует метасистемный подход.

Представим последние два-три столетия (а возможно, и больше) развития мировой промышленности, когда человек придумывал разные технологии и инструменты извлечения («*вытягивания*») полезных для себя элементов или веществ органического и неорганического характера из горных пород, земли и воды. При этом биогенная миграция атомов дополнялась все более масштабной антропогенной. На возрастающую роль ноосферы в изменении распределения элементов в биосфере указал классик геоэкологии В.И. Вернадский [2]. Любой уровень знания в этой области позволяет представить не только всю сложность и очевидную важность таких усилий для развития цивилизации, но и возможные губительные последствия длительного антропогенного изменения распределения химических компонентов биогеоценозов для экологии нашей планеты. На наш взгляд, при сохранении постулированной В.И. Вернадским ноосферной преобразующей роли в отношении Земли сегодня наступит новая эпоха, в которой возникает обратный антропогенный процесс – возврата того, что некогда было извлечено и сконцентрировано. Бремя накопленных экологически опасных, в том числе радиоактивных, отходов возрастает. Но, как отмечал К. Маркс: «Человечество ставит себе всегда только такие задачи, которые оно может разрешить, так как при ближайшем рассмотрении всегда оказывается, что сама задача возникает лишь тогда, когда материальные условия ее решения уже имеются налицо, или, по крайней мере, входят в процесс становления» [4].

Появляются естественные и синтетические минералы, способные «*вытягивать*» в себя те продукты индустриального «*вытягивания*», которые для человечества более не нужны и даже вредны.

Смысл этих «реверсных» усилий и новой промышленной тенденции состоит в том, чтобы не только изымать из геосферы полезные ископаемые, но и возвращать геосфере их компоненты, в том числе – ядовитые и опасные для биосферы, например – радиоактивные изотопы, сокращая в десятки раз занимаемый ими объем и увеличивая на много порядков надежность и безопасность их изолированного хранения.

Открыты и синтезированы минералы, которые обещают наступление новой фазы во взаимодействии человека и геосферы, а может быть – и принципиально новую промышленную эпоху.

Проблемы экологии арктического побережья России

Еще Д.И. Менделеев [5] предрекал полярным областям России важнейшую роль в ее будущем индустриальном и геополитическом развитии. В годы бурного освоения Крайнего Севера в нашей стране был создан мощный гражданский и военный атомный флот и заполярные атомные электростанции. За время их функционирования образовалось значительное количество радиоактивных отходов. После снижения в 1990-х годах, в период деиндустриализации и геополитического регресса России, ныне хозяйственно-экономическая и военная активность в Арктике значительно возросла. Это происходит в условиях потепления климата, очевидного интереса ряда приполярных стран к освоению Арктики и повышению цен на добываемые в Русском Заполярье природные ресурсы. В связи с осуществляемой государственной программой «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации»¹ в части очистки арктического побережья России от жидких радиоактивных отходов (ЖРО), накопленных за время функционирования атомного флота, возникает проблема дезактивации больших объемов регламентных ЖРО, а также малых и средних объемов ЖРО, для которых технологические регламенты переработки отсутствуют. В настоящее время не существует технологических

¹ <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&prevDoc=102363806&backlink=1&nd=102349853>

процессов, позволяющих производить комплексную одностадийную очистку таких отходов с возможностью дальнейшего длительного безопасного захоронения продуктов очистки. Разнообразие же компонентов ЖРО еще больше усложняет поиск универсального способа их переработки. Решение этой проблемы невозможно без разработки новых технологий очистки радиоактивных отходов. При этом предпочтительными являются технологии, созданные отечественными научными группами и внедряемые на российских предприятиях, что позволяет уменьшить технологическую зависимость России от зарубежных поставщиков ядерных технологий и стать их экспортерами.

Наши исследования показали, что для очистки регламентных ЖРО может быть успешно использован новый нанокристаллический сорбент ЛНТ-9 (слоистый титанат гидразина), способный удалять из водных растворов более 50 химических элементов, в том числе большинство радионуклидов, включая ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{93}Zr , ^{151}Sm , ^{154}Eu , ^{99}Tc , ^{79}Se , ^{107}Pd , ^{126}Sn , ^{238}U , ^{235}U , ^{239}Pu , ^{237}Np , ^{243}Am [1, 3]. Быстрая одноактная очистка регламентных ЖРО реакторов ВВЭР-типа от радионуклидов Cs, Sr и Co может быть проведена при помощи еще одного нового сорбента иванюкита (микропористый титаносиликат натрия), селективного в отношении этих элементов [6–11]. Одновременное либо последовательное использование разработанных сорбентов с учетом их устойчивости в растворах любой кислотности-щелочности [12–13] позволяет полностью решить проблему дезактивации и отверждения ЖРО практически любого химического состава.

Титаносиликаты Кольских Хибин

Символично, что ключ к решению проблемы радионуклидного загрязнения Арктики может лежать под ногами – в самой Арктике. Минерально-сырьевая база Кольских Хибин уникальна. На Кольском полуострове найдена десятая часть известных в мире минералов. При этом более ста из них нигде за пределами региона не встречаются. Кроме того, здесь сосредоточено 25% мировых запасов редкоземельных элементов. Остальные их мировые запасы – главным образом в недрах Китая. Больше нигде на земном шаре нет столь богатых разведанных месторождений редкоземельных минералов.

Ежегодно в Кольских Хибинах открывают по нескольку минералов, порой обладающих уникальными свойствами. Ученые Кольского научного центра (КНЦ) РАН открыли, например, зорит, обладающий свойствами разделять газы, ситинакит, способный поглощать цезий и стронций из радиоактивных отходов, епифановит – природный люминофор для светодиодной оптики – и другие интересные минералы. Но их залежи крайне малы, и для промышленного приме-

нения после изучения свойств природных минералов приходится синтезировать их сначала в лабораторных условиях, а затем в опытно-промышленных и, наконец, в промышленных масштабах.

Формируется на наших глазах аналог бионики, возникшей в середине прошлого века, – своего рода «геоника» – использование и воспроизведение уникальных свойств природных минералов в промышленных целях. Именно на Кольском полуострове находятся и сами минералы с их уникальными структурами, и сырье для их производства, и квалифицированные научные и промышленные кадры, а самое главное, существует острая потребность в высокотехнологичных материалах, изготовленных на основе каркасных микропористых титаносиликатов, для решения экологических проблем Арктики, включая связанные с деятельностью Северного флота, Кольской АЭС и мощных металлургических комбинатов.

Кольский минерал иванюкит (ИМА2007-042) был открыт на горе Коашва Хибинского массива [13]. Он интенсивно поглощает из водного раствора комнатной температуры ионы самых разных металлов и даже ионизированные органические молекулы. Ему свойственно поглощать и такие металлы, как рубидий, цезий, никель и кобальт. А если иванюкит предварительно очистить от присутствующих в его структуре внекаркасных катионов натрия и калия, то он начинает поглощать и благородные металлы – платину, золото, палладий, родий. Все это открывает широкие перспективы для практического применения иванюкитов и подобных им минералов. Минерал назван в честь выдающегося отечественного ученого-геолога Г.Ю. Иванюка (рис. 1), безвременно ушедшего из жизни во время одной из экспедиций в Хибины на горе Эвеслогчорр.

Первооткрыватель минералов группы иванюкита В.Н. Яковенчук предположил, что если минералы могут поглощать катионы стронция, цезия или кобальта, значит их можно применять для извлечения радиоактивных изотопов этих элементов из водных растворов. Но ведь с точки зрения радиационной гигиены и безопасности извлечение таких веществ, скажем, из отходов ядерных реакторов – это еще половина дела. Затем их надо где-то надежно захоронить.

Сегодня существуют различные способы хранения радиоактивных отходов. Их можно вылить в Мировой океан, где они разбавятся в миллионы раз и станут относительно безопасными, можно закачать в глубокие горизонты горных пород, а можно консервировать в составе подходящих синтетических веществ. К сожалению, в настоящее время абсолютно устойчивые к радиоактивному излучению вещества для создания таких матриц не найдены, так что рано или поздно радиоактивные изотопы начинают вновь мигрировать и заражать окружающую среду.



Рис. 1. Григорий Юрьевич Иванюк (1966–2019)

Однако у иванюкита есть важное природное свойство: то, что он «забрал», – назад он уже не отдает. Иванюкит образует в своей кристаллической решетке одиночные шахматно расположенные кластеры из октаэдров TiO_6 и связывающих их тетраэдров SiO_4 . Получается пористый каркас с идущими в трех направлениях каналами. В каналах находятся внекаркасные катионы калия и натрия (последний занимает три четверти) и молекулы воды. При снижении щелочности среды тетраэдрическая форма обратимо теряет треть внекаркасных катионов натрия, становится кубической и приобретает способность к катионному обмену. В водном растворе ионы натрия и калия с легкостью обмениваются на ионы рубидия, цезия, таллия, стронция, кобальта, меди, никеля, серебра и многих других металлов. Титаносиликатный каркас при этом не страдает, а полученная самоорганизованная структура термодинамически выгодна и, как следствие, стабильна: войдя в структуру иванюкита, все эти элементы уже не переходят назад в раствор при комнатной температуре, поскольку совершенство кристаллической структуры в ходе обмена возрастает.

При определенных условиях иванюкит можно полностью избавить от внекаркасных катионов (декаатионизировать) и тем самым как бы «взвести курок» для его дальнейшего насыщения катионами. В большинстве минералов потеря внекаркасных катионов приводит к разрушению всей структуры, но не в иванюките. Даже будучи полностью декаатионизированным, он

сохраняет свою кристалличность, и это определяет возможность его использования в качестве молекулярного сита, в каналы которого сравнительно мелкие ионы или молекулы входят, а более крупные – уже нет. Если сквозь порошок иванюкита прокачать смесь кислорода и метана, то молекулы кислорода пройдут сквозь порошок как более мелкие, а молекулы метана останутся. Это замечательное свойство можно использовать для очистки, например, природного газа или нефтепродуктов.

Области потенциального применения иванюкитов самые различные: селективное извлечение радионуклидов, благородных металлов, очистка промышленных стоков, загрязненных тяжелыми металлами, катализ и др. Потенциально заинтересованные области включают и медицину, где катионные молекулы – как неорганические, так и органические – могут служить токсикантами. Например, будучи погруженным в известный таллиевый яд – водный раствор формиата и малоната таллия (жидкость Клеричи), минерал за считанные минуты обменивает весь свой натрий и калий на таллий, прибавляя 56% процентов веса.

Материал и методы исследования **Жидкие радиоактивные отходы** **арктического побережья**

Нерегламентные ЖРО-I образовались в результате работ по выгрузке отработавших частей реактора на жидкометаллическом теплоносителе атомной под-

водной лодки № 910 проекта 705 (ЗАТО г. Островной, Мурманская область). Они представляли собой жидкость черного цвета, содержащую неопределенное количество тонкой взвеси недиагностированных твердых частиц. Основным источником их γ -активности является изотоп ^{152}Eu , активность по которому лежит в пределах $8,2 \times 10^6 - 2,9 \times 10^9$ Бк/л. В состав дезактивирующих растворов входило большое количество различных по функциональности компонентов: азотная кислота, фтористоводородная кислота, сульфат натрия, ортофосфат натрия и сульфанол. Кроме того, в составе ЖРО-I присутствовали неопределенные количества солей железа и меди. Концентрации и соотношения компонентов в дезактивирующих растворах в процессе дезактивации не контролировались, поэтому можно было дать лишь общую оценку химического состава этих нерегламентных ЖРО.

Регламентные ЖРО-II реакторов ВВЭР-типа по своему радионуклидному составу являются ^{137}Cs - ^{90}Sr содержащими отходами (удельная γ -активность по ^{137}Cs – $1,1 \times 10^6$ Бк/л, удельная β -активность по ^{90}Sr – $8,5 \times 10^4$ Бк/л). Кроме того, в них присутствует значительное количество нерадиоактивных элементов-загрязнителей, количество и состав которых варьирует в широких пределах. В результате, ЖРО-II заметно различаются от емкости к емкости по величине удельной активности ($10^2 - 10^7$ Бк/л), pH, составу радионуклидов и содержанию нерадиоактивных примесей, соответствующих примерно составу морской воды.

Соответственно, очистка ЖРО обоих типов проводилась в несколько этапов и контролировалась по их радиоактивности.

Сорбенты для очистки ЖРО арктического побережья

Слоистый титанат гидразина LHT-9, $(\text{N}_2\text{H}_5)_{0,5}\text{Ti}_{1,87}\text{O}_4$, является коллективным сорбентом, имеющим высокую сорбционную емкость в водных растворах в отношении более чем 50 элементов периодической системы Д.И. Менделеева [10, 11]. Его кристаллическая структура образована гофрированными слоями из титан-кислородных октаэдров, между которыми располагаются слои из ионов гидразиния N_2H_5^+ (рис. 2). Разнообразие форм адсорбционного поведения LHT-9 является следствием одновременного сочетания (1) ионообменных свойств, (2) восстановительных свойств ионов гидразиния и (3) большой удельной площади поверхности, достигающей $320 \text{ м}^2/\text{г}$. Важным свойством LHT-9 служит отсутствие в его составе каких-либо нелетучих компонентов за исключением диоксида титана. Это позволяет рассматривать продукты адсорбции радионуклидов на LHT-9 как удобные прекурсоры для получения стабильных титанатных матриц, пригодных для длительного захоронения радиоактивных отходов. В частности, прокаливание LHT:Eu при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ дает титанатную керамику, состоящую из рутила TiO_2 и фазы $\text{Eu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ со структурой пирохлора.

Иванюкит представляет собой новый титаносиликатный сорбент с выраженными ионообменными свойствами, определяемыми особенностями его микропористой кристаллической структуры из изолированных титанатных кластеров $4 \times \text{TiO}_6$ и кремнекислородных тетраэдров SiO_4 (рис. 3). Этот каркас образует трехмерную систему каналов диаметром

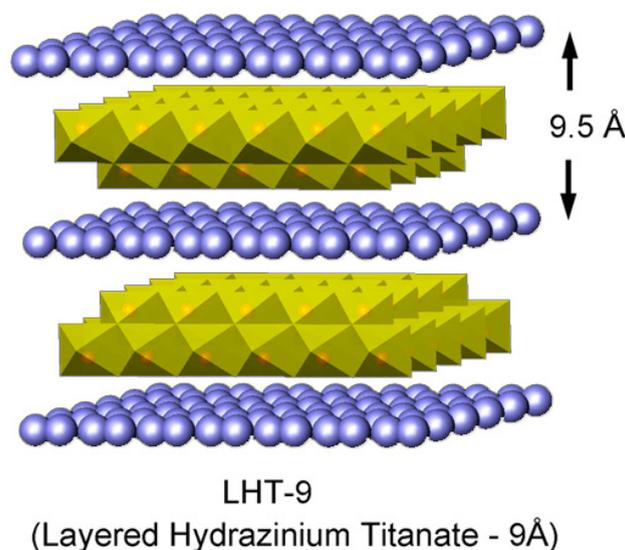


Рис. 2. Кристаллическая структура LHT-9

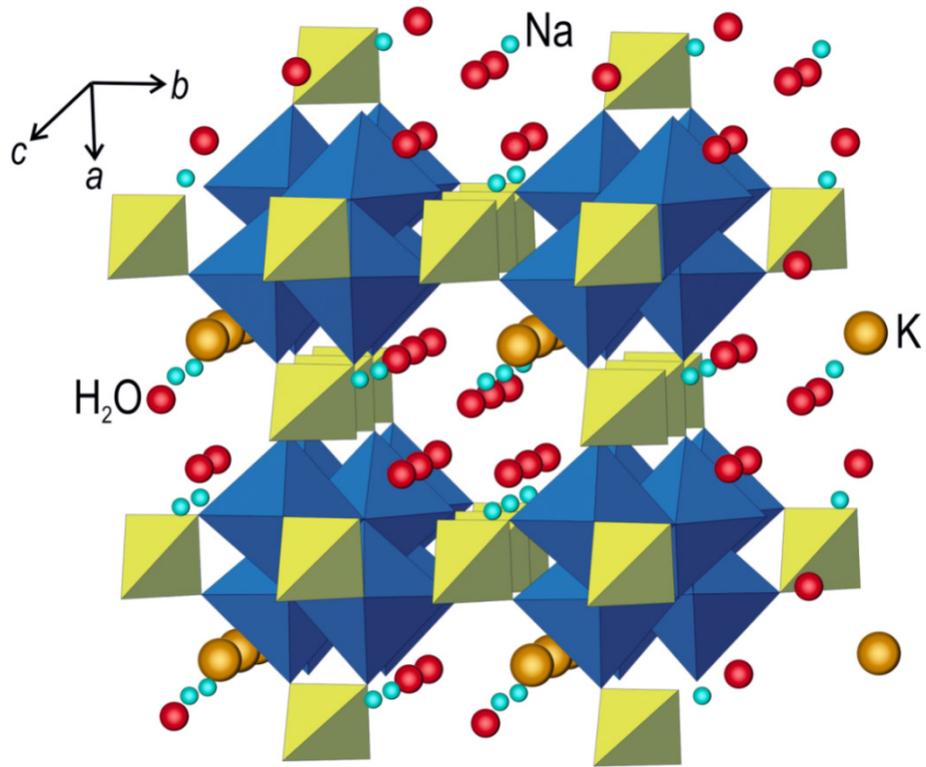


Рис. 3. Кристаллическая структура иванюкита

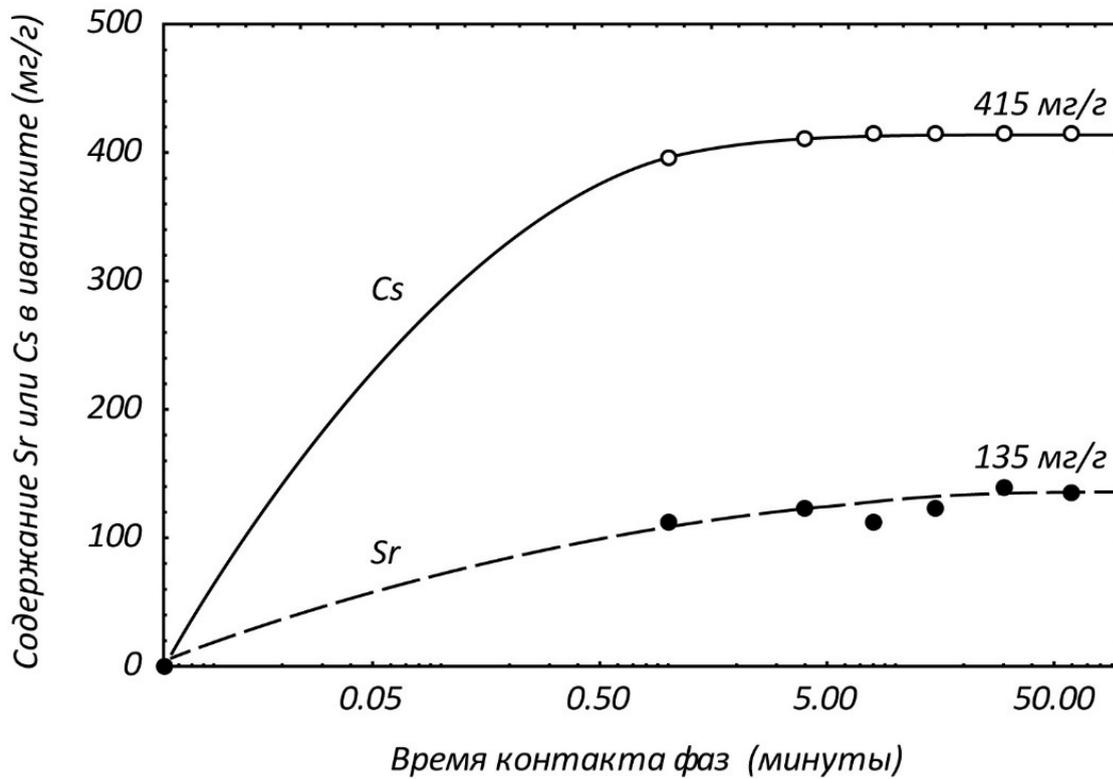


Рис. 4. Кинетические кривые сорбции Sr и Cs на иванюките

около $3,5 \text{ \AA}$, которые в исходном иванюките заняты катионами Na^+ и K^+ , а также молекулами воды, а после взаимодействия с ЖРО – катионами Cs^+ , Sr^{2+} и Co^{2+} .

В ходе обменных реакций в водных растворах солей цезия и стронция содержание этих металлов уже через 30 секунд достигает, соответственно, 90 и 13% от своего максимального значения. В течение последующих 8 минут происходит нарастание концентрации обоих элементов до предельно допустимого значения 415 и 135 мг на 1 г сорбента, соответственно (рис. 4). В смешанных растворах солей Cs, Sr, Na, K и Ca, имитирующих состав ЖРО-II, иванюкит селективно обменивает Na и K на Cs и Sr, тогда как остальные катионы остаются в растворе.

Отжиг Cs-замещенного иванюкита при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 2 часов приводит к образованию тонкозернистой керамики (рис. 5), состоящей из титанатов со структурами рутила (TiO_2), голландита ($\text{CsTi}_8\text{O}_{16}$), лейцита ($\text{Cs}_2\text{Si}_4\text{Ti}_2\text{O}_{13}$) и пирохлора ($\text{Cs}_4\text{Si}_2\text{Ti}_3\text{O}_{12}$). При спекании иванюкита-Sr происходит его переход в керамику из Sr-содержащего рутила, лейцитоподобной фазы $(\text{K,Sr})_2\text{Si}_4\text{Ti}_2\text{O}_{13}$ и пирохлороподобной фазы $\text{Sr}_2\text{Si}_2\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Керамика, образующаяся при спекании Cs-Sr-замещенного иванюкита, содержит рутил, таусонит SrTiO_3 , голландитоподобный титанат $\text{CsTi}_8\text{O}_{16}$, лейцитоподобную фазу $(\text{Cs,Sr})_{1-2}\text{Si}_4\text{Ti}_2\text{O}_{13}$ и пирохлороподобное соединение $(\text{Sr,Cs})_{2-4}\text{Si}_2\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Скольнибудь существенных потерь Cs и Sr при прокаливании не происходит.

Процедура сорбции ЖРО

Для проведения лабораторных экспериментов по очистке от радионуклидов нерегламентных ЖРО-I (при помощи ЛНТ-9 и иванюкита) и регламентных ЖРО-II (при помощи иванюкита) были разработаны лабораторные методики.

В процессе проведения экспериментов по очистке ЖРО-I в лаборатории отделения «Гремиха» сотрудниками Северо-Западного филиала ФГУП «РосРАО» использовалась как оригинальная методика, так и методика модифицированная: нейтрализация исходных кислых растворов ЖРО аммиаком в этом случае не проводилась. Растворы ЖРО-I после нейтрализации имели $\text{pH} = 5$, а растворы, очищавшиеся без нейтрализации, имели после разбавления $\text{pH} = 3$. Исключение из методики очистки нейтрализацией аммиаком существенно упростило общую процедуру проведения экспериментов, сводившуюся в результате к простому разбавлению исходных ЖРО-I, добавлению к полученному раствору аликвоты суспензии ЛНТ-9 и фильтрованию раствора, очищенного от радионуклидов. Именно по такой сокращенной схеме проводился эксперимент по очистке от радионуклидов среднеобъемной пробы ЖРО-I. Отделение насыщенного радионуклидами сорбента от фильтрата производилось на бумажном фильтре. Объемы аликвот исходных ЖРО-I составляли от 1 до 10 мл. Концентрация ЛНТ-9 в суспензии, добавлявшейся к ЖРО, составляла 4,3 г воздушно-сухого порошка ЛНТ-9 на 100 мл суспензии.

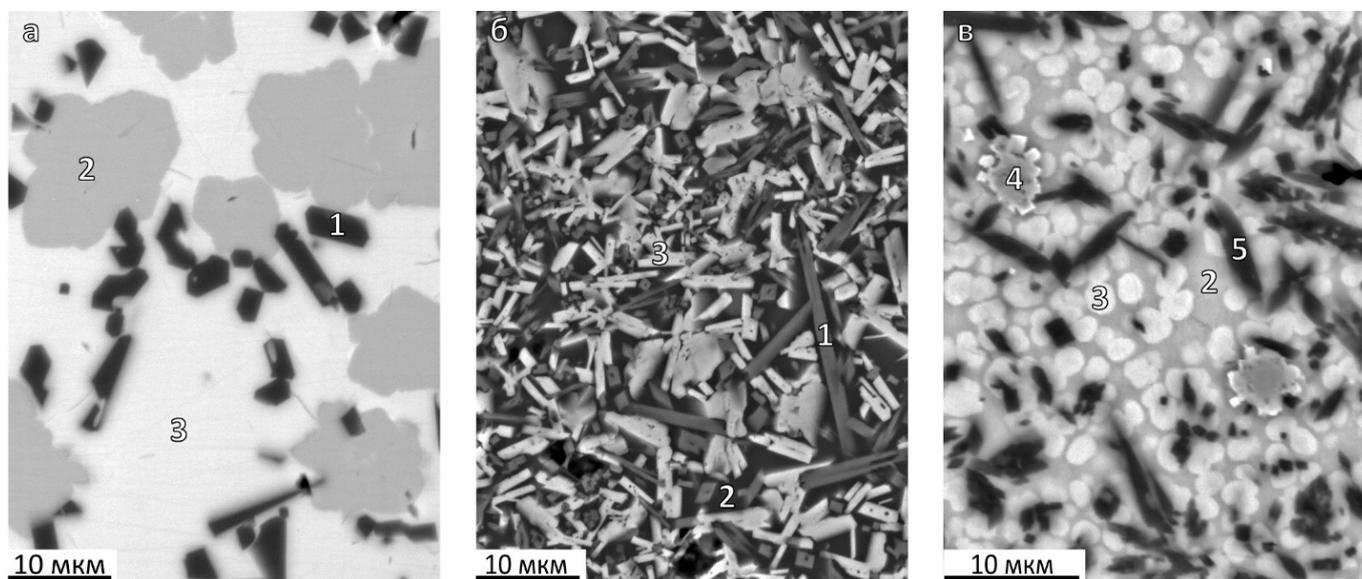


Рис. 5. Минералоподобные керамики, полученные прокаливанием иванюкита-Cs (а), -Sr (б) и -Cs-Sr (в) при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 6 часов. Электронно-микроскопические изображения в обратно-рассеянных электронах: 1 – рутил; 2 – лейцитоподобная фаза $(\text{Cs,K,Sr})_{1-2}\text{Si}_4\text{Ti}_2\text{O}_{13}$; 3 – пирохлороподобная фаза $(\text{Cs,Sr})_{2-4}\text{Si}_2\text{Ti}_3\text{O}_{12}$; 4 – таусонит; 5 – голландитоподобная фаза $\text{CsTi}_8\text{O}_{16}$

Эксперименту по доочистке ЖРО-I и очистке ЖРО-II при помощи иванюкита предшествовал лабораторный эксперимент по оценке эффективности использования иванюкитовой суспензии в маточном растворе, остающемся после гидротермального синтеза (с высоким содержанием NaOH и $\text{pH} = 14$), и иванюкитовой суспензии в деионизированной воде, после предварительной 4-кратной промывки порошка иванюкита водой от маточного раствора ($\text{pH} = 10$, иванюкит подвергся частичному протонированию). Объемы аликвот исходных ЖРО-II составляли 50 мл. Концентрация иванюкита в суспензии, добавлявшейся к ЖРО, составляла 1 г воздушно-сухого порошка иванюкита на 100 мл суспензии, а соотношение объемов сорбента и ЖРО – 1:1. Эксперименты по доочистке среднеобъемной пробы ЖРО-1 после использования ЛНТ-9 и очистка среднеобъемной пробы ЖРО-2 проводилась при помощи суспензии иванюкита в дистиллированной воде (как более эффективной) по этой же методике.

Получение минералоподобной керамики

Илистые осадки обоих сорбентов из емкости с ЖРО, помещенные в керамические тигли объемом 125 мл для ЛТ:(Eu...) и 55 мл для иванюкита-(Cs,Sr...)

(рис. 6 а, з), были тщательно высушены под сушильной лампой с целью предотвращения вскипания остатков ЖРО и выброса пара с радиоактивными наночастицами сорбентов в атмосферу (рис. 6 б, д). После полного высыхания осадка тигли накрывались крышками и помещались в муфельную печь, температура в которой плавно увеличивалась до 1000 °С. После отжига при температуре 1000 °С в течение 2 часов печь выключалась, и последующее охлаждение тиглей происходило самопроизвольно в течение 12 часов.

Образовавшаяся керамика представлена в случае ЛТ:(Eu,Cs,Sr) высокопористой хрупкой массой коричневого цвета (рис. 6 в), легко разламывающейся на фрагменты при нажатии. По результатам изучения нерадиоактивной керамики на основе ЛТ:Eu в состав полученного продукта входят в основном рутил и пирохлороподобный титанат $\text{Eu}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$. При отжиге иванюкита-(Cs,Sr) сформировалась твердая фарфоровидная масса, разбитая на несколько крупных фрагментов контракционными трещинками (рис. 6 е). По аналогии с нерадиоактивной керамикой из продуктов переработки нерадиоактивного аналога ЖРО-II в состав этой массы, помимо рутила, входят таусонит и Cs-Sr-титанаты со структурой лейцита, пирохлора и голландита.

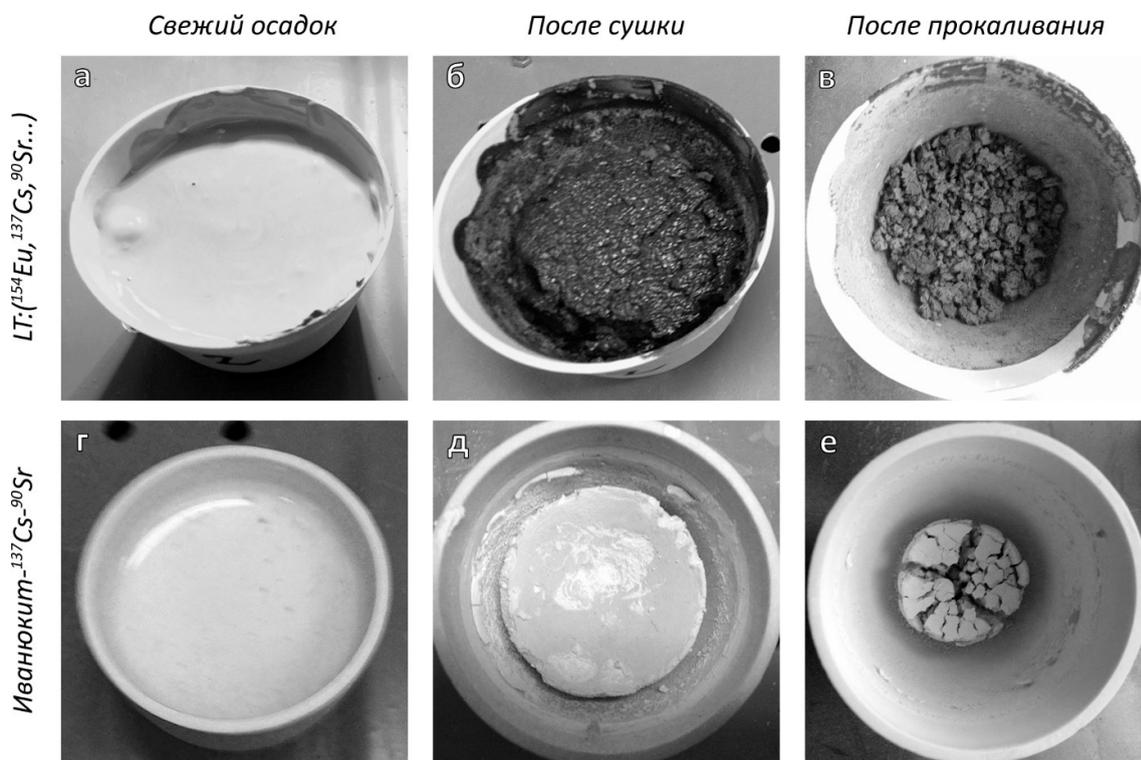


Рис. 6. Последовательные продукты перевода радиоактивных осадков, образовавшихся при очистке ЖРО сорбентами на основе ЛНТ-9 и иванюкита, в титанатную керамику

Результаты и обсуждение

Адсорбент на основе слоистого титаната гидразина ЛНТ-9 является эффективным поглотителем радионуклидов из исследованных ЖРО. Минимальная достигнутая остаточная активность ЖРО по усредненной пробе 6 после очистки составила 0,07%, при этом МЭД пробы ЖРО снизилась с 960 до 0,23 мкЗв/ч.

Относительная очистка ЖРО при однократной обработке суспензией ЛНТ-9 в условиях проведенного лабораторного эксперимента составляет 60–130 раз по МЭД и в пределах колебаний измерений не зависит от объемного соотношения суспензия/ЖРО вплоть до соотношения суспензия/ЖРО = 1,67.

Поскольку отделение очищенных ЖРО от насыщенного радионуклидами сорбента производилось фильтрованием на бумажном фильтре, то колебания остаточной активности очищенных ЖРО могут быть связаны с проникновением наночастиц насыщенного радионуклидами сорбента через поры фильтра в очищенный раствор ЖРО.

Общий объем полученной из илистого осадка минеральных сорбентов керамики на основе ЛТ-9: (Eu,Cs,Sr) – 20 мл, на основе иванюкита-(Cs,Sr) – 2,5 мл (табл. 1). Таким образом, наблюдалось сокращение объема радиоактивных отходов с использованием комплексного сорбента на основе ЛНТ-9 в 17 раз, а селективного в отношении Cs и Sr сорбента на основе иванюкита – в 250 раз [1].

Таким образом, установлена высокая эффективность использования ЛНТ-9 для коллективной сорбции радионуклидов (в основном, ^{152}Eu) из нерегламентных ультракислых ЖРО-I, которые образовались в результате работ по выгрузке отработавших частей реактора

на жидкометаллическом теплоносителе атомной подводной лодки № 910 проекта 705 (ЗАТО г. Островной, Мурманская область). Требуемое количество сухого ЛНТ-9 составляет 40–100 г на 1 л ЖРО-I.

Установлена высокая эффективность иванюкита при переработке обогащенных радионуклидами цезия и стронция ЖРО-II водо-водяных реакторов. Требуемое количество сухого иванюкита составляет 10–20 г на 1 л ЖРО-II.

Оба сорбента могут быть использованы в виде их водных суспензий (с содержанием 40 г ЛНТ-9 и 10 г иванюкита в 1 л суспензии), которые смешивают с ЖРО без какой-либо предварительной подготовки последних (разбавления, нейтрализации и т. п.).

Образовавшиеся при использовании обоих сорбентов радиоактивные осадки могут быть переведены в более устойчивую титанатную керамику, близкую по составу к керамикам типа Synroc [1], посредством отжига при температуре 1000 °С в течение 2 часов. На сегодня Северо-западный научно-производственный центр «Социум» в партнерстве с СПбГУ и другими партнерами находится на опытно-промышленной стадии внедрения двух титановых сорбентов. Эти инновационные разработки имеют широкие перспективы применения в промышленности и в решении экологических проблем арктического побережья. В г. Апатиты Мурманской области создается современный научно-производственный центр, нацеленный на открытие, изучение и производство в промышленно необходимом объеме продуктов формирующейся новой отрасли геологических наук – геоники, в частности, новых синтезированных сорбентов на основе минералов Кольских Хибин.

Табл. 1

Объем и масса исходных ЖРО, радиоактивных осадков и керамики на их основе

	ЛНТ-9	Иванюкит
Тип ЖРО	I	II
Объем ЖРО, переработанных до состояния НАО, л	1	1,5
Объем высушенного радиоактивного осадка, мл	140	30
Масса высушенного радиоактивного осадка, г	143,4	14,1
Объем керамики*, мл	60	6
Масса керамики, г	55,6	9,9
Уменьшение объема, разы	17	250

Примечание. * Оценка без учета пористости керамики.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Бритвин СН, Герасимова ЛГ, Иванюк ГЮ, Калашникова ГО, Кржижановская МГ, Кривовичев СВ, Марарица ВФ, Николаев АИ, Огинова ОА, Пантелеев ВН, Хандобин ВА, Яковенчук ВН, Яничева НЮ. Применение титаносодержащих сорбентов для очистки жидких радиоактивных отходов с последующей консервацией радионуклидов в титанатных керамиках типа Synroc. *Химическая технология*. 2015;4:229-38.
2. Вернадский ВИ. Биосфера. М.: Издательский дом Ноосфера; 2001.
3. Герасимова ЛГ, Николаев АИ, Щукина ЕС, Маслова МВ, Селиванова ЕА. Титаносиликаты с каркасной структурой, синтез и сорбционные свойства. *Перспективные материалы*. 2014;(3):21-7.
4. Маркс К. К критике политической экономии. Предисловие. В кн.: Маркс К, Энгельс Ф. Сочинения. Том. 13. Изд. 2-е. М.: Государственное издательство политической литературы; 1959. С. 1-167.
5. Менделеев ДИ. Докладная записка об исследовании Северного полярного океана Его Превосходительству Сергею Юльевичу Витте от 14 ноября 1901 г. *Советская Арктика*. 1937;(6):72-6.
6. Николаев АИ, Герасимова ЛГ, Маслова МВ. Обезвреживание радиоактивных и токсичных объектов с использованием сорбентов, полученных из техногенных отходов ОАО «АПАТИТ». *Вестник КНЦ РАН*, 2014;2:89-97.
7. Николаев АИ, Иванюк ГЮ, Кривовичев СВ, Яковенчук ВН, Пахомовский ЯА, Герасимова ЛГ, Маслова МВ, Селиванова ЕА, Спиридонова ДВ, Коноплева НГ. Нанопористые титаносиликаты: кристаллохимия, условия локализации в щелочных массивах и перспективы синтеза. *Вестник КНЦ РАН*. 2010;3:51-62.
8. Яничева НЮ, Калашникова ГО. Синтетический иванюкит – перспективный ионообменный материал. *Вестник МГТУ*. 2014;17(1):106-11.
9. Gerasimova LG, Nikolayev AI, Shchukina YeS, Maslova MV, Selivanova YeA. [Titanosilicates having a carcass structure: Their synthesis and sorption properties]. *Perspektivnye Materialy*. 2014;3:21-7. (In Russ.)
10. Marx K. [On critics of political economy. Foreword]. In: Marx K, Engels F. *Sochineniya*. Izd. 2-e. Tom 13, Moscow: Gosudarstvennoye Izdatelstvo Politicheskoy Literatury; 1959. P. 1-167. (In Russ.)
11. Mendeleev DI. [Memorandum on exploration of the Northern Polar Ocean to His Excellency Sergey Yulyevich Vitte dated 14 November 1901]. *Sovetskaya Arktika*. 1937;(6):72-6. (In Russ.)
12. Nikolaev AI, Gerasimova LG, Maslova MV. [Decontamination of radioactive and toxic objects using sorbents manufactured from technological wastes of ОАО Apatit]. *Vestnik KNTs RAN*. 2014;(2):89-97. (In Russ.)
13. Nikolaev AI, Ivaniuk GYu, Krivovichev SV, Yakovenchuk VN, Pakhomovsky YaA, Gerasimova LG, Maslova MV, Selivanova YeA, Spiridonova DV, Konopliova NG. [Nanoporous titanosilicates: Their crystal chemistry, conditions for their localization in alkaline arrays, and prospects for their synthesis]. *Vestnik KNTs RAN*. 2010;3:51-62. (In Russ.)
14. Yanicheva NYu, Kalashnikova GO. [Synthetic ivanyukite as a promising ion exchanging material]. *Vestnik MGTU*. 2014;17(1):106-11. (In Russ.)
15. Britvin SN, Korneyko YI, Burakov BE, Lotnyk A, Kienle L, Depmeier W, Krivovichev SV. Sorption of nuclear waste components by layered hydrazinium titanate: a straightforward route to durable ceramic forms. *Mater Res Soc Symp Proc*. 2012;(1475):191-6.
16. Britvin SN, Krivovichev SV, Depmeier W, Siidra OI, Spiridonova DV, Gurzhiy VV, Zolotarev AA. *Layered Titanates*. PCT WO 2011; 116788 A1.
17. Britvin SN, Lotnyk A, Kienle L, Krivovichev SV, Depmeier W. Layered hydrazinium titanate: advanced reductive adsorbent and chemical toolkit for design of titanium dioxide nanomaterials. *J Am Chem Soc*. 2011;133:9516-25.
18. Nikolaev AI, Gerasimova LG, Maslova MV, Spiridonova DV, Yakovenchuk VN, Ivanyuk GYu. Synthesis and properties of nano-porous titanosilicates. *J Int Sci Publ*. 2012;6(2):18-26.
19. Yakovenchuk VN, Nikolaev AP, Selivanova EA, Pakhomovsky YaA, Korchak JA, Spiridonova DV, Zalkind OA, Krivovichev SV. Ivanyukite-Na-T, ivanyukite-Na-C, ivanyukite-K, and ivanyukite-Cu: New microporous titanosilicates from the Khibiny massif (Kola Peninsula, Russia) and crystal structure of ivanyukite-Na-T. *Am Mineralogist*. 2009;94:1450-8.

Общий список литературы/Reference list

1. Britvin SN, Gerasimova LG, Ivaniuk GYu, Kalashnikova GO, Krzhizhanovskaya MG, Krivovichev SV, Mararitsa VF, Nikolaev AI, Oginova OA, Panteleyev VN, Khandobin VA, Yakovenchuk VN, Yanicheva NYu. [The use of titanium-containing sorbents for treating of liquid radioactive wastes and subsequent conservation of radionuclides in Synroc-type titanate ceramics]. *Khimicheskaya Tkhnologiya* 2015;4:229-38. (In Russ.)
2. Vernadsky VI. *Biosfera*. Moscow: Izdatelskiy Dom Noosfera; 2001. (In Russ.)

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ СРЕДСТВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ В ЛАБОРАТОРНОМ И ПОЛЕВОМ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

А.О. Герасимов, М.В. Чугунова, Ю.М. Поляк
 Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,
 Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: recchi@rambler.ru, chugunova54@gmail.com, yuliapolyak@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.12.2019; принята к печати 15.01.2019

Противогололедные средства (ПГС), применяющиеся для борьбы с ледяными и снежными отложениями в городах, являются одним из наиболее вредных антропогенных факторов. Значительное число работ по данной тематике посвящено воздействию на окружающую среду технической соли, в то время как реагентам нового поколения уделяется недостаточно внимания. В статье представлены результаты изучения сезонной динамики содержания водорастворимых солей ПГС нового поколения в дерново-подзолистой почве в условиях полевого и лабораторного экспериментов. Сопоставлены 9 ПГС, применяемых в Санкт-Петербурге, – хлоридные, ацетатные и формиатные реагенты. Лабораторные опыты показали, что высокие дозы хлоридных реагентов увеличивали содержание солей в почвах до отметок, соответствующих слабому засолению (максимальные показатели – 3,96 мСм/см), потенциально опасному для растений и почвенных микроорганизмов. В полевых условиях с течением времени степень засоления почвы уменьшалась – соли ПГС вымывались из верхних горизонтов с выпадающими осадками. К концу вегетационного сезона максимальные показатели не превышали 0,29 мСм/см, что соответствовало фоновым значениям. Следовательно, снижалась токсичность загрязненных почв для растений и микроорганизмов. По результатам исследований определены наименее экологически вредные ПГС. К ним относятся ацетатные и формиатные реагенты «Нордвэй» и «Clearway». Хлориды магния («Бишофит») оказались менее опасными среди реагентов хлоридной группы. Также рекомендованы допустимые дозы ПГС на городских улицах. В Северо-Западном регионе сравнительно безопасной можно считать дозу 50 г/м².

Ключевые слова: противогололедные средства, почвы, растения, эксперимент, содержание соли.

THE SEASONAL CHANGES IN THE CONTENT OF DE-ICING SALTS IN SOD-PODZOL SOIL IN LABORATORY AND FIELD EXPERIMENTS

A.O. Gerasimov, M.V. Chugunova, Y.M. Polyak
 Saint-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety RAS, Saint Petersburg, Russia

E-mail: recchi@rambler.ru, chugunova54@gmail.com, yuliapolyak@mail.ru

De-icing preparations (DIP) used in winter to prevent ice and snow deposits in cities are one of the most harmful anthropogenic factors. Numerous investigations on this topic are dedicated to the environmental impact of technical sodium chloride, whereas less attention is paid to new-generation reagents. The present paper reports the results of laboratory and field studies of nine DIPs used in Saint Petersburg, including chlorides and newer preparations of acetates and formates. The laboratory experiments showed that high doses of chloride reagents can increase salt content in soils to levels corresponding to low salinity (maximum values were 3.96 mS/cm), which are potentially dangerous to plants and soil microorganisms. Under field conditions, salt content in soil eventually decreased. Salts were washed out from the upper soil horizons by atmospheric precipitation. By the end of vegetation season, the maximum concentration did not exceed 0.29 mS/cm, i.e. corresponded to background indices. Accordingly, contaminated soils toxicity for plants and microorganisms decreased. The results suggest that the least environmentally harmful anti-ice salts are the acetate and formate preparations Nordway and Clearway. Magnesium chlorides «Bishofit») proved to be less dangerous among chloride-based DIP. The permissible doses of DIP salts for urban streets in the Northwest of Russia are within 50 g/m².

Keywords: de-icing salts; soils; plants; experiment; salt content.

Введение

Самыми уязвимыми компонентами природной среды в мегаполисах являются почвы и зеленые насаждения. В Санкт-Петербурге накоплению загрязняющих веществ в почвах способствует целый комплекс негативных антропогенных факторов. Среди них одними из самых экологически опасных являются противогололедные средства [11].

Противогололедными средствами (ПГС) называют химические реагенты, предназначенные для борьбы со снежными и ледяными наносами. ПГС зачастую имеют сложный химический состав и состоят из нескольких компонентов.

Номенклатура современных противогололедных средств представлена следующими основными химическими группами: хлоридная группа (ПГС на основе хлоридов кальция, магния, натрия), ацетатная (ПГС на основе ацетатов калия и аммония), нитратная (ПГС на основе нитратов кальция и магния), формиатная (ПГС на основе формиатов калия и натрия) и аммонийная (мочевина; карбамидно-аммиачная селитра). Кроме того, в качестве ПГС активно используются фрикционные материалы – песок, щебень, мраморная и гранитная крошка.

В Санкт-Петербурге доминирующими ПГС являются реагенты хлоридной группы, чья доля в использовании на магистралях города заметно превышает ацетатные, нитратные и формиатные ПГС.

В российских городах в силу климатических условий традиционно задействуются значительные объемы ПГС. Попадая в больших количествах в придорожные почвы, ПГС негативным образом влияют на сами почвы, на произрастающую в них растительность, на грунтовые и поверхностные воды. По некоторым данным, среди опасных факторов, воздействующих на растения в урбанизированной среде, засоление почв ПГС стоит на первом месте [10–11, 15, 17].

Степень воздействия ПГС на почвы зависит от множества факторов. В их числе – расстояние от проезжей части, время года, высота относительно дороги (рельеф), продолжительность воздействия, гранулометрический состав почвы, наличие или отсутствие дренажа, количество осадков, температура воздуха, ветер, влажность и другие [16].

ПГС, накапливаясь в почвах, изменяют их химический состав и физические характеристики. Со временем это может вызвать структурные и функциональные изменения почвенных экосистем, что в перспективе чревато стрессом и гибелью растений и почвенных микроорганизмов [1].

Механизм стресса для растений состоит в том, что при высоком содержании солей в почве поступление питательных веществ в корни растений затруднено. В этой ситуации нарушается поглощение влаги растениями и возникает явление физиологической сухости. По мере

аккумуляции солей жизнеспособность растений падает, в результате они становятся уязвимыми к негативному воздействию различных фитопатогенов и техногенных факторов [15]. При отсутствии атмосферных осадков в весеннее время или при их незначительном количестве может наблюдаться гибель растений в уличных посадках вследствие применения ПГС. В этом случае соли после таяния снега задерживаются в поверхностном слое почв на длительное время, повышая осмотическое давление почвенного раствора. При обильных весенних дождях аккумуляции солей не происходит, поскольку почвенный профиль промывается осадками.

Кроме того, из-за негативного воздействия ПГС на химические, физические и физико-химические свойства почвы зачастую нарушается нормальная биохимическая активность комплекса почвенных микроорганизмов, изменяются его структура и видовое разнообразие, что влечет за собой снижение почвенного плодородия [2].

Таким образом, применяемые ПГС способны изменить геохимические условия произрастания зеленых насаждений и нормального функционирования почвенных микроорганизмов, что грозит им стрессом и в перспективе гибелью.

Важнейшим фактором воздействия ПГС на окружающую среду является их концентрация в почве. Характер динамики солей ПГС в почве характеризует способность почвы к самоочищению и позволяет выявить наиболее экологически безопасные ПГС с установлением допустимых доз их применения.

Исследованиями противогололедных средств занимались многие отечественные и иностранные специалисты, освещая различные аспекты данной проблемы. Можно выделить работы П.А. Васильева, Н.Е. Кошелевой, Е.М. Никифоровой, В.С. Николаевского, Х.Г. Якупова, Г. Ке, В.Р. Якоби и других [2, 9–11, 15, 18, 19]. Но значительная часть работ по данной тематике посвящена вопросам, связанным с воздействием на окружающую среду технической соли, тогда как ПГС нового поколения в литературных источниках пока еще получили недостаточно внимания. Чаще всего освещаются данные по отдельным ПГС, но не хватает комплексных сравнительных исследований.

В связи с этим задача нашего исследования состояла в изучении динамики содержания солей различных ПГС в почве в течение вегетационного сезона.

Объекты и методы

Объектами настоящего исследования стали применявшиеся в последние десять лет в Санкт-Петербурге 9 ПГС различного химического состава. Наряду с наиболее часто применяемыми ПГС хлоридной группы исследовались реагенты ацетатной и формиатной групп, которые в последнее время получают все большее распространение.

Хлоридную группу представляли хлорид натрия (техническая соль), хлорид магния (реагент «Бишофит»), хлорид кальция («ТОР»), а также смеси различных хлоридов – реагенты «Айсмелт», «Ежик», «No Ice», «Рокмелт-Эко». Ацетатную группу представлял реагент «Нордвэй» (ацетат калия), а формиатную – «Clearway F-1» (формиат натрия) финского производства.

Эксперименты с ПГС были проведены в лабораторных и полевых условиях. В лабораторных условиях обеспечивается высокая степень контроля за проведением эксперимента, поскольку он изолирован от посторонних воздействий в регулируемой среде (одинаковые температура, влажность и т. д.). Таким образом воздействие внешних факторов сведено к минимуму, и лабораторные эксперименты обеспечивают высокую степень достоверности. Для исследований использовали окультуренную дерново-подзолистую суглинистую почву (Eutric Albic Retisol (abrupt, loamic, aric, ochric)). В соответствии с ТУ были выбраны дозировки ПГС 20, 50 и 150 г/м². Как правило, 20 г/м² является минимальной дозой для большинства ПГС, применяющихся при обработке дорог, 150 г/м² – максимальной. В лабораторном эксперименте реагенты вносились в почву в растворенном виде. Почву увлажняли до 60% от полной влагоемкости, далее производили ее компостирование в течение 10 дней при комнатной температуре. По окончании компостирования почву помещали в пластиковые сосуды объемом 1 л. Опыт закладывали в 4-кратной повторности. Полученные показатели сравнивали с показателями незагрязненных контрольных образцов.

Натурные микрополевые опыты закладывали в 4-кратной повторности на окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве опытного поля Аграрного университета в г. Пушкин. Размер делянок составлял 50 × 25 см. В мае почву загрязняли теми же дозами ПГС, что и в лабораторном опыте: 20, 50 и 150 г/м². Затем высевали на делянки газонные травы (травосмесь «Универсал», включающая райграс, мятлик, тимофеевку, полевицу, овсяницу и ежу). Осенью с указанных делянок отбирали образцы почвы для проведения лабораторных исследований. Отбор осуществляли с глубины 0–20 см из 3 точек каждой микроделянки, после чего путем перемешивания формировали общий образец.

Показателем содержания растворенных солей в загрязненных ПГС почвах служила электрическая проводимость водных вытяжек из почвенных образцов (с соотношением почвы к дистиллированной воде – 1:5), определяемая с помощью многодиапазонного кондуктометра «Hanna» HI 8733. Подготовку водных вытяжек проводили по ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки». Расчеты достоверности полученных результатов проводили с по-

мощью методов дисперсионного анализа по методике полевого опыта [7].

Метод определения концентрации легкорастворимых солей в почвенном растворе по электропроводности является одним из общепринятых и широко применяемых в почвоведении [3]. Данный метод используют, в частности, для оценки степени засоления почв [4]. Многочисленными исследованиями установлено, что электропроводность является одним из наиболее удобных и надежных параметров, который позволяет с достаточной точностью оценить степень минерализации почвенных растворов [8]. Н.И. Сотиева и И.И. Толпешта также обосновывают возможность оценки засоления почв по результатам химических анализов водных вытяжек [13, 14]. Е.И. Панкова с коллегами разработали специальную шкалу по оценке степени засоленности почв в зависимости от электропроводности [12]. Таким образом, в условиях наших модельных экспериментов величина электропроводности достоверно и объективно характеризует степень засоленности почв.

Результаты и обсуждение

Результаты определения содержания легкорастворимых солей по удельной электропроводности в водных вытяжках из почв, загрязненных ПГС в лабораторных условиях, представлены на рис. 1.

Результаты измерений показали, что при внесении максимальных доз хлоридных ПГС в почву в ней наблюдается превышение фонового уровня содержания солей в 18–36 раз. В некоторых случаях содержание солей приближалось к отметке, соответствующей слабозасоленным почвам (4 мСм/см). При этом, по мнению некоторых авторов, в последнее время граница засоления почв снизилась до значений 2 мСм/см [12].

Надо отметить, что ПГС на основе хлоридов магния («Бишофит») вызывало меньшее засоление почв, нежели другие хлоридные реагенты, что отмечалось также в исследованиях некоторых зарубежных специалистов [18].

При внесении средних доз хлоридных ПГС максимальная электропроводность достигала 1,56 мСм/см, что можно считать допустимым.

В то же время содержание солей в почве при внесении ацетатных и формиатных ПГС фактически не превышало контрольных показателей.

Содержание легкорастворимых солей в водных вытяжках из почв полевого опыта, загрязненных противогололедными средствами, измерялось по окончании вегетационного сезона. Эти показатели представлены на рис. 2.

На рис. 2 показано, что к концу вегетационного сезона под действием внешних факторов содержание солей в почве снизилось до фоновых отметок. Наибольшее значение электропроводности не превысило

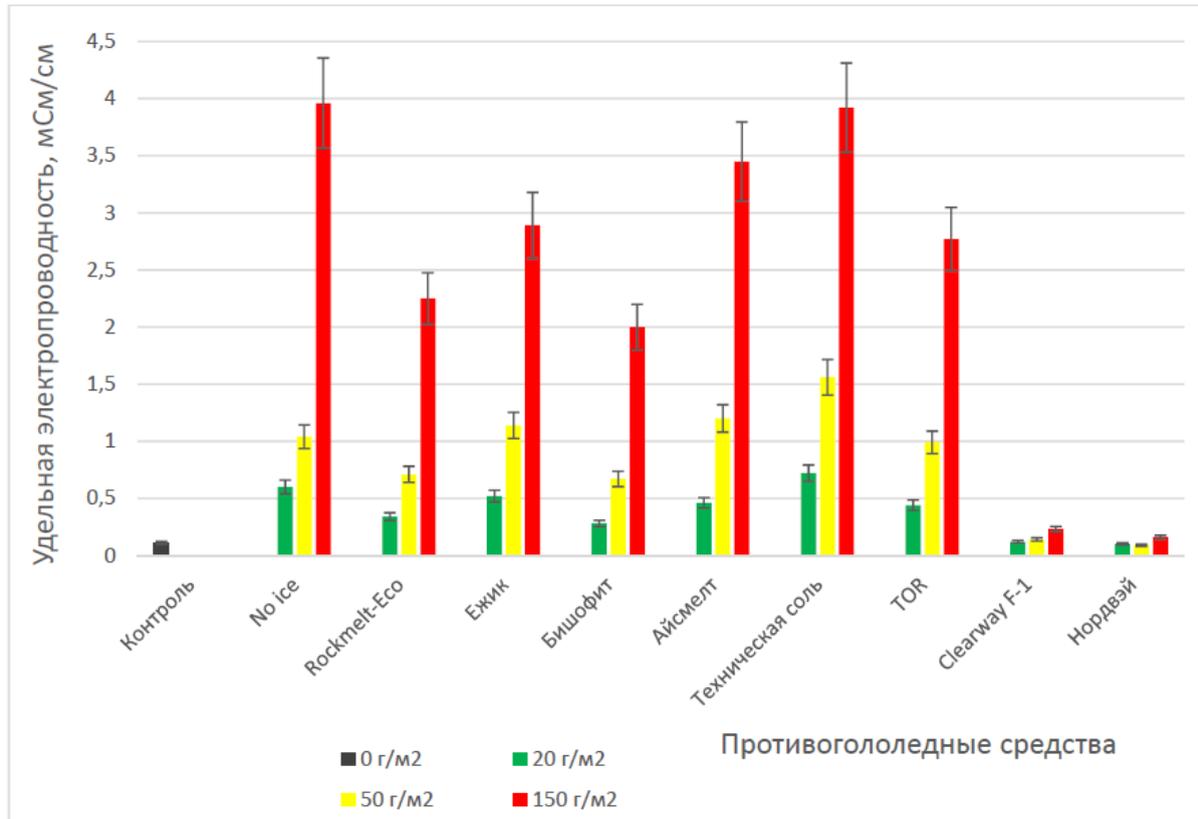


Рис. 1. Удельная электропроводность водных вытяжек из загрязненных ПГС почв (лабораторный опыт), мСм/см

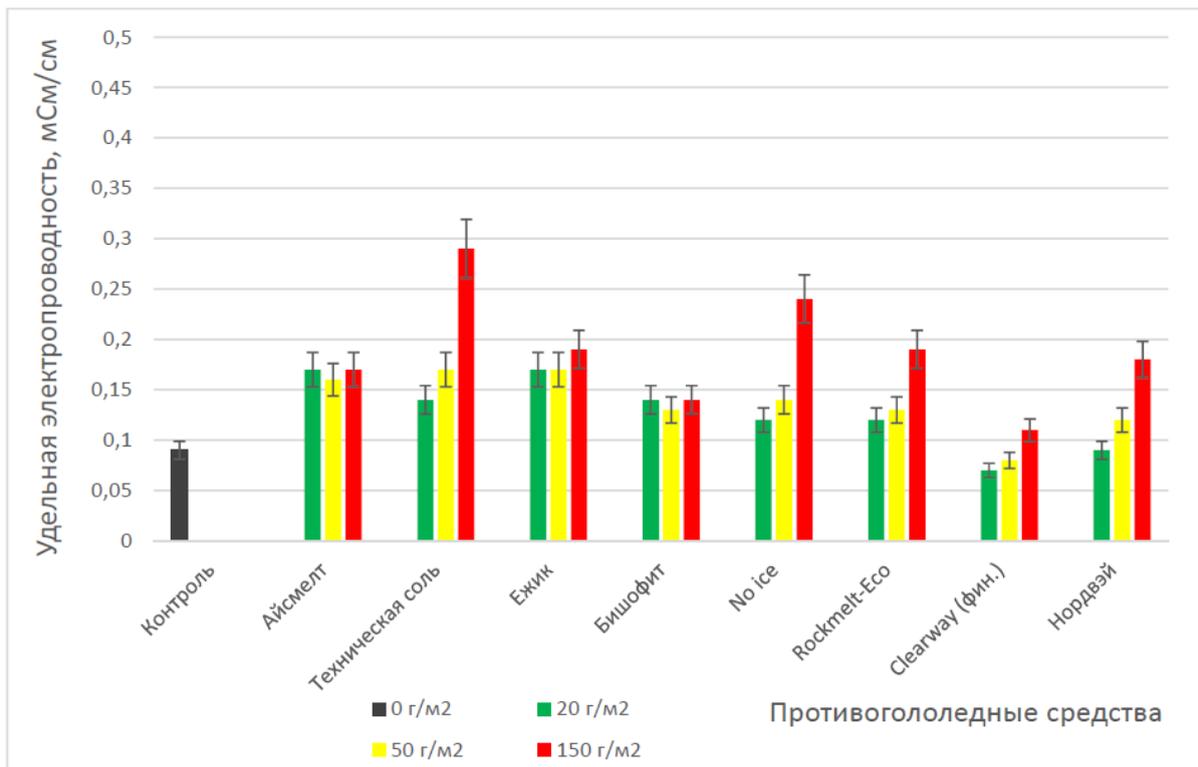


Рис. 2. Удельная электропроводность водных вытяжек из загрязненных ПГС почв (полевого опыт), мСм/см

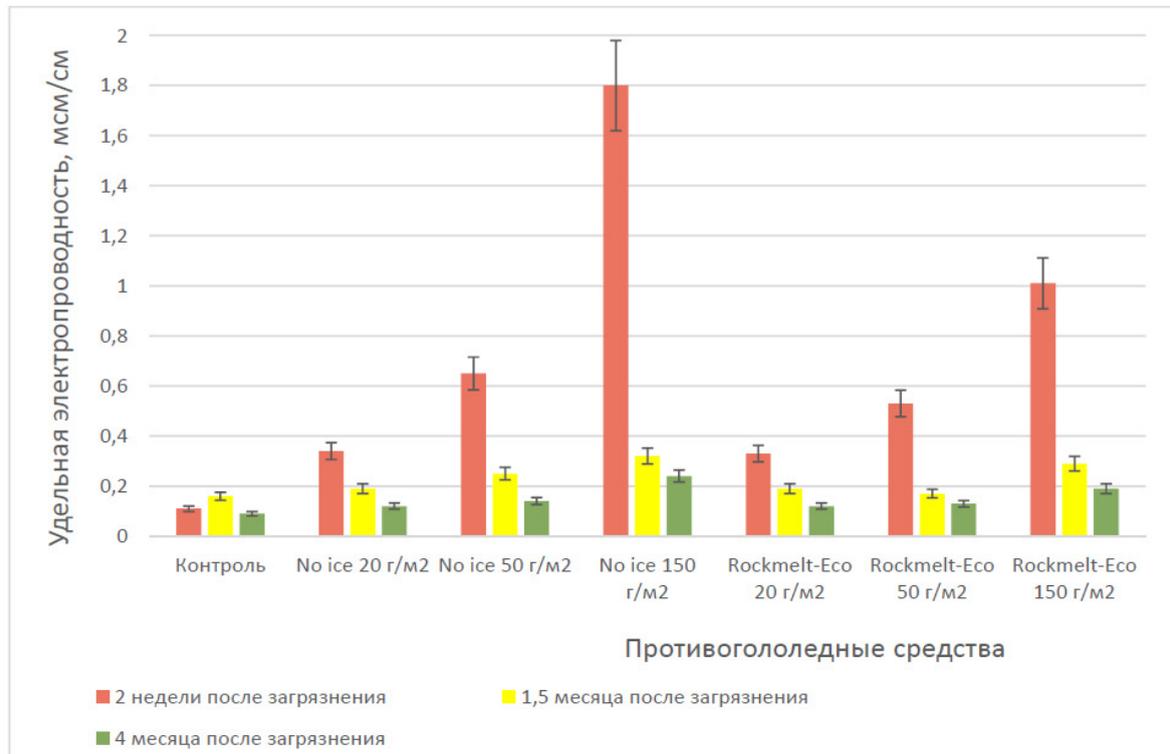


Рис. 3. Динамика удельной электропроводности водной вытяжки из почв в течение вегетационного сезона (полевой опыт), мСм/см

отметки 0,29 мСм/см (при максимальных дозах технической соли). На основании этих данных можно говорить о практически полном вымывании противогололедных реагентов за время вегетационного сезона из верхних горизонтов исследованной почвы.

Динамику содержания солей в почве в полевых условиях в течение вегетационного сезона можно проследить на примере реагентов No ice и Rockmelt-Eco. На рис. 3 сопоставлены величины электропроводности в почвах полевого опыта, измеренных через два недели после загрязнения указанными ПГС, через полтора месяца, а также по окончании вегетационного сезона.

Резкое уменьшение засоления было отмечено уже в самые краткие сроки. Через два месяца содержание солей снизилось фактически до контрольных отметок (наибольшее значение – 0,32 мСм/см). В последующее до окончания вегетационного сезона время наблюдалось дальнейшее, уже плавное снижение уровня засоления.

Таким образом, результаты полевых экспериментов демонстрируют очень значительное снижение содержания солей ПГС в почве к концу вегетационного сезона. Одновременно уменьшалась токсичность загрязненных ПГС почв, что подтвердилось результатами опытов по фитотестированию (на семенах пшеницы), учету растительной биомассы (газонных трав) и микробиологическими экспериментами (на почвенных

микроорганизмах), в которых отмечалось сильное сокращение токсического воздействия ПГС осенью. Эти данные более подробно представлены в отдельных статьях [5, 6].

Столь выраженное снижение засоления можно объяснить, главным образом, вымыванием солей из верхних горизонтов почвы выпадающими осадками. Промывной водный режим почв Санкт-Петербурга, в целом, допускает использование ПГС на основе хлоридов – почвы успевают промыться, и накопления солей в них не происходит.

Тем не менее, необходимо учитывать изменчивость внешних факторов, к примеру, вероятность засушливого лета, при котором процессы очищения почвы от солей могут сильно замедляться. Важно отметить также, что максимальное вредное действие реагентов на растения и почвенные микроорганизмы приходится на вторую половину весны, сразу по окончании зимнего сезона. В это время степень засоления в почве максимальна, а растения как раз вступают в период активного роста и наименее жизнестойчивы. Соответственно, в апреле-мае вред от ПГС для растений является наибольшим.

В настоящий момент широкое применение относительно безвредных для растений ацетатных и формиатных реагентов на улицах Санкт-Петербурга мало осуществимо из-за их высокой стоимости. Поэтому основной упор делается на более дешевые хлоридные

ПГС, и в ближайшее время ситуация, согласно заявлениям представителей дорожных служб, меняться не будет. С учетом данных объективных факторов наименее экологически опасными можно назвать ПГС на основе хлоридов магния («Бишофит»), в результате применения которых содержание солей в почве несколько меньше, чем у других хлоридных ПГС (см. рис. 1, 2).

Выводы

Проведенные исследования динамики содержания солей в дерново-подзолистой почве, загрязненной ПГС нового поколения, позволяют сделать следующие выводы.

– Максимальные дозы хлоридных реагентов (150 г/м²) увеличивают содержание солей в почве до отметок, соответствующих слабому засолению, что несет потенциальную опасность для растений и почвенных микроорганизмов. Поэтому применение хлоридных реагентов в указанных дозах необходимо ограничивать.

– В результате применения ацетатных и формиатных ПГС даже максимальные их дозы практически

не вызывают превышения контрольных показателей и, соответственно, в основном не оказывают угнетающего действия на различные компоненты окружающей среды.

– Среди хлоридных ПГС, применяющихся в Санкт-Петербурге, предпочтение следует отдавать препаратам на основе хлоридов магния («Бишофит»). Ацетатные и формиатные реагенты («Нордвэй» и «Clearway») безопаснее для окружающей среды, нежели хлориды, и поэтому могут быть рекомендованы к применению на улицах городов.

– В течение вегетационного сезона степень засоления почвы, вызванная ПГС, снижается до минимальных отметок вследствие их вымывания из верхних почвенных горизонтов осадками. Поэтому, с учетом принципа максимальной экологической безопасности, при расчете допустимых доз нужно ориентироваться на результаты лабораторных экспериментов, согласно которым дозы ПГС, не превышающие 50 г/м², не изменяют почвенных условий и могут считаться допустимыми для использования на улицах городов.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Азовцева НА. Влияние солевых антифризов на экологическое состояние городских почв. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Москва: МГУ; 2004.
2. Васильев ПА. Экологические проблемы, связанные с применением противогололедных реагентов в условиях города. Тезисы докладов XV межд. конф. «Ломоносов-2008»; 2008 8-12 апреля; Москва. Москва: МГУ; 2008. с. 12-3.
3. Возбуцкая АЕ. Химия почвы. Москва: Высшая школа; 1968.
4. Воробьева ЛА, Ладонин ДВ, Лопухина ОВ, Рудакова ТА, Кирюшин АВ. Химический анализ почв. Вопросы и ответы. Москва: МГУ; 2012.
5. Герасимов АО, Чугунова МВ. Изучение воздействия хлоридных противогололедных реагентов на высшие растения и почвенные микроорганизмы в лабораторном и полевом экспериментах. Инженерная геология. 2016;6:48-53.
6. Герасимов АО, Чугунова МВ. Оценка действия противогололедных реагентов разного химического состава на рост травянистых растений и почвенное дыхание. Биосфера. 2018;10(4):273-81.
7. Доспехов БА. Методика полевого опыта. Москва: Альянс; 2011.
8. Копикова ЛП. Изучение электрической проводимости почв и поровых растворов в целях диагностики степени засоления. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Москва: МГУ; 1985.
9. Кошелева НЕ, Кузьминская НЮ, Терская ЕВ. Засоление и осолонцевание городских почв из-за применения противогололедных реагентов (на примере Западного административного округа Москвы). Инженерные изыскания. 2017;(6-7):64-7.
10. Никифорова ЕМ, Кошелева НЕ, Власов ДВ. Мониторинг засоления снега и почв Восточного округа Москвы противогололедными смесями. Фундаментальные исследования. 2014;11(2):340-7.
11. Николаевский ВС, Якубов ХГ. Новые методы оценки устойчивости древесных растений к комплексу экстремальных факторов мегаполиса. Проблемы озеленения городов. 2004;(10):146-9.
12. Панкова ЕИ, Воробьева ЛА, Гаджиев ИМ, Горохова ИН и др. Засоленные почвы России (отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова). Москва: Академкнига; 2006.
13. Сотнева НИ. Применение экспресс-методов для оценки почв по степени засоления (на примере почв севера Прикаспийской низменности). Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2005;57:68-80.
14. Толпешта ИИ, Соколова ТА, Сиземская МЛ. Активности ионов и электропроводность вод-

ной вытяжки целинных и мелиорированных почв Джаныбекского стационара. Почвоведение. 2000;11:1365-76.

15. Якубов ХГ, Николаевский ВС. Удаление натрия и хлоридов из почв города в целях улучшения условий роста и развития древесных растений. Экология большого города. 2001;(5):100-5.

Общий список литературы/Reference lists

1. Azovtseva NA. [The effect of salt antifreezes on the ecological state of urban soils. Candidate of Sciences Theses]. Moscow: MGU; 2004. (In Russ.)
2. Vasiliev PA. [Environmental problems associated with the use of anti-ice reagents in urban conditions]. In: Tezisy Dokladov XV Mezhdunarodnoy Konferentsii «Lomonosov-2008». Moscow: MGU; 2008. p. 12-3. (In Russ.)
3. Vozbutskaya AYe. Khimiya Pochvy. [Soil Chemistry]. Moscow: Vysshaya Shkola; 1968. (In Russ.)
4. Vorobyeva LA, Ladonin DV, Lopukhina OV, Rudakova TA, Kiryushin AV. Khimicheskii Analiz Pochv. Voprosy i Otvety. [Chemical Analysis of Soils. Questions and Answers]. Moscow: MGU; 2012. (In Russ.)
5. Gerasimov AO, Chugunova MV. [A study of anti-ice materials effect on higher plants and soil microorganisms in laboratory and field experiments]. Inzhenernaya Ekologiya. 2016;6:48-53. (In Russ.)
6. Gerasimov AO, Chugunova MV. [Evaluation of the effect of anti-icing agents of different chemical composition on the growth of herbaceous plants and soil respiration]. Biosphere. 2018;10(4):273-81. (In Russ.)
7. Dospekhov BA. Metodika Polevogo Opyta. [Methodology of Field Experiments]. Moscow: Alyans; 2011. (In Russ.)
8. Kopikova LP. [A study of electrical conductivity of soils and pore solutions for diagnosing the degree of salinity Candidate of Science Theses]. Moscow: MGU; 1985. (In Russ.)
9. Kosheleva NYe, Kuzminskaya NYu, Terskaya YeV. [The salinization and alkalization of urban soils due to the use of anti-ice reagents (exemplified with Moscow Western Administrative District)]. Inzhenernye Izyskaniya 2017;(6-7):64-7. (In Russ.)
10. Nikiforova YeM, Kosheleva NYe, Vlasov DV. [The monitoring of snow and soils salinization by anti-ice materials in the Eastern District of Moscow]. Fundamentalnye Issledovaniya. 2014;11(2):340-47. (In Russ.)
11. Nikolayevsky VS, Yakubov KhG. [New methods for assessing the resistance of woody plants to a complex of extreme factors of a megacity]. Problemy Ozeleeniya Gorodov. 2004;(10):146-9. (In Russ.)
12. Pankova YeI, Vorobieva LA, Gadzhiev IM, Gorokhova IN et al. Zasolennye Pochvy Rossii. [Saline Soils in Russia]. Moscow: Akademkniga; 2006. (In Russ.)
13. Sotneva NI. [The use of express methods for estimating of soils by the degree of their salinity (exemplified with North Caspian lowland soils)]. Biulleten Pochvennogo Instituta Imeni V V Dokucheyava. 2005;57:68-80. (In Russ.)
14. Tolpeshta II, Sokolova TA, Sizemskaya ML. [Ion activity and electric conductivity of water extract from virgin and meliorated soils of the Dzhanybek Station]. Pochvovedeniye. 2000;11:1365-76. (In Russ.)
15. Yakubov KhG, Nikolaevskiy VS. [Removal of sodium and chlorides from urban soil to improve conditions for growth and development of woody plants]. Ekologiya Bolshogo Goroda. 2001;(5):100-5. (In Russ.)
16. Cain NP et al. Review of the Effects of NaCl and Other Road Salts on Terrestrial Vegetation in Canada. Environment Canada Commercial Chemicals Evaluation Branch; 2001.
17. Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impact. NCHRP Report 577. Washington DC: Transportation Research Board of the National Academies; 2007.
18. Jacobi WR, Goodrich BA, Koski RD. Environmental Effects of Magnesium Chloride-Based Dust Suppression Products on Roadside Soils, Vegetation and Stream Water Chemistry. Agricultural Experiment Station Technical Report. TR09-04. Colorado State University; 2009.
19. Ke G, Zhang J, Tian B. Evaluation and selection of de-icing salt based on multi-factor. Materials (Basel). 2019;12(6):912.

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА КУЭТСЪЯРВИ (СИСТЕМА РЕКИ ПАСВИК, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.М. Зубова*, **Н.А. Кашулин****, **В.А. Даувальтер**,
Д.Б. Денисов, **С.А. Валькова**, **О.И. Вандыш**,
П.М. Терентьев, **А.А. Черепанов**

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, Апатиты, Россия

Эл. почта: * seeewolf84@yandex.ru, ** kashulin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.12.2019; принята к печати 28.01.2020

Озеро Куэtságьярви (нижнее течение р. Пасвик, Мурманская область), расположенное в приграничной зоне между Россией и Норвегией, является одним из наиболее загрязненных водоемов Евро-Арктического региона. В результате деятельности расположенных на его берегах плавильных цехов металлургического комбината «Печенганикель» в водах и донных отложениях озера отмечаются чрезвычайно высокие концентрации тяжелых металлов. Долговременные комплексные исследования экосистемы оз. Куэtságьярви позволили выявить ответные реакции ее компонентов на глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата в целом, результирующие в усилении токсификации вод и их эвтрофировании, сокращении численности стенобионтных видов гидробионтов на фоне возрастания численности эврибионтных и инвазивных видов. Современные сообщества оз. Куэtságьярви представляют собой результат воздействия комплекса факторов многолетних изменений абиотической среды и биотических взаимоотношений. Загрязнение оз. Куэtságьярви тяжелыми металлами, длящееся с 30-х годов прошлого века, привело к формированию сообщества, устойчивого к данному виду воздействия и поддерживающего высокую численность толерантных и адаптированных организмов. Адаптации сообществ к динамике условий существования организмов выражаются в изменениях видового состава, количественных показателей, соотношения отдельных таксономических групп, структуры популяций. Формирование симпатрических форм, различающихся экологическими нишами, морфологией, стратегиями жизненного цикла, включая переход на короткоцикловую стратегию выживания, позволяет сугу оставаться доминирующим видом и поддерживать высокую численность популяции. В отличие от организменного уровня, ответные реакции на среднесрочные изменения окружающей среды популяций и сообществ более инерционны и менее специфичны.

Ключевые слова: загрязнение, тяжелые металлы, экосистема, оз. Куэtságьярви.

LONG-TERM CHANGES IN THE MAIN COMPONENTS OF KUETSJARVI LAKE ECOSYSTEM (PASVIK RIVER SYSTEM, MURMANSK REGION, RUSSIA)

Ye.M. Zubova*, **N.A. Kashulin****, **V.A. Dauvalter**, **D.B. Denisov**, **S.A. Val'kova**,

O.I. Vandysh, **P.M. Terentyev**, **A.A. Cherepanov**

Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Scientific Center of the Russian Academy of Science,
Apatity, Russia

Email: * seeewolf84@yandex.ru; ** kashulin@mail.ru

The lake Kuetsjarvi (lower course of Pasvik River, Murmansk Oblast) is located in the borderline territory between Russia and Norway. It one of the most polluted water bodies of European Arctic. Because of the the metallurgic plant Pechenganikel located at the coast of the lake is the source, water and bottom sediments of the lake contain extremely high levels of heavy metals. Long-term comprehensive studies of the ecosystem of the lake revealed that the responses of its ecosystem to global and regional environmental and climatic changes include an increasing toxicity and eutrophication of lake water, decreasing number of stenobiont aqueous species and increasing numbers of ubiquitous and invasive species. The present-time communities in the lake developed as results of interactions between long-term changes in abiotic and biotic factors. Pollution with heavy metals, which lasts since 1990-ies, resulted in the development of communities of species that are tolerant to this impact and are

able to maintain their abundance. Adaptations of the communities to changes in their environments are manifested as changes in their species compositions, in proportions of different taxonomic groups, and structures of their populations. In particular, whitefish is able to remain the dominant species and sustain its populations due to development of sympatric forms differing in their ecological niches, morphological features, and life cycle strategies, including transition to shorter life cycles. At difference from changes at the levels of organisms, responses of populations and communities to medium-term environmental changes are more inertial and less specific.

Keywords: pollution, heavy metals, ecosystem, Kuetsjarvi Lake.

Введение

Будучи одним из основных объектов природопользования Арктики, водные объекты претерпели существенные изменения в связи с интенсивным промышленным освоением региона. Высокий уровень индустриального развития Евро-Арктического региона привел к радикальным изменениям в структурно-функциональной организации природных экосистем, снижающим их ресурсный потенциал [7, 13, 15, 16, 24, 55, 74]. Во многих озерах региона в условиях долговременного интенсивного загрязнения стоками промышленных предприятий на фоне снижения стабильности региональных климатических систем наблюдаются нарушения продукционных процессов, сложных межвидовых и симбиотических отношений гидробионтов, изменение видового состава их сообществ [38, 39, 62, 65]. Это обуславливает актуальность изучения закономерностей функционирования водоемов в динамической системе взаимосвязанных природных и антропогенных факторов, а также выделение регулирующих параметров среды, что позволит прогнозировать развитие экосистем в будущем. Понимание механизмов функционирования и трансформации сложных природных систем в условиях долговременных изменений факторов среды является научной основой сохранения устойчивости, рационального использования и управления качеством водных ресурсов.

В настоящей работе представлены результаты исследований динамики показателей различных компонентов экосистемы небольшого субарктического оз. Куэтсъярви за период с 1989 по 2016 г. Озеро входит в состав озерно-речной системы Инари (Инариярви) – Пасвик (Патсо-Йоки, Паз) (бассейн Баренцева моря, площадь водосбора – 18300 км²). Это весьма уникальный водоем, в котором обитает популяция самой мелкой в Европе формы сига *Coregonus lavaretus* L. [14, 19], поддерживающая длительный период времени высокую численность, несмотря на экстремально высокие уровни загрязнения водоема тяжелыми металлами [11, 12, 14]. Главным источником техногенного воздействия на озеро является промышленный комплекс (плавильные цеха, рудники, шлакохранилище, сопутствующая инфраструктура) горно-металлургического комбината «Печенганикель», расположенного на берегу озера и основанного в 1930-х годах финской компанией «Петсамон Никкели». Токсичные и кислотные соединения, выщелачивающиеся из отвалов

и горных пород подкисленными дождями и талыми водами, также поступают в водоем. Большое влияние на химический состав воды и донные отложения озера оказывают пылевые выбросы комбината, пыление отвалов и промышленной площадки комбината. Оценки климатических изменений, основанные на данных сети мониторинга Мурманского УГМС в районе исследований за период 1976–2012, показывают устойчивый тренд возрастания ежемесячного количества осадков на 1,8 (Янискоски) – 2,4 мм (Никель) за 10 лет и увеличение среднегодовой температуры на 0,6 °C за 10 лет [74].

Целью настоящей работы было выделение основных закономерностей адаптации экосистемы оз. Куэтсъярви, позволяющей ей функционировать в экстремальных условиях окружающей среды.

Материал и методы

Характеристика водоема. Оз. Куэтсъярви является частью озерно-речной системы пограничной р. Пасвик, с которой соединяется небольшой протокой (рис. 1).

Одно из самых крупных на приграничной территории (площадь озера – 17,0 км², максимальная глубина – 37 м), по форме удлиненное озеро ледникового происхождения длиной 11,6 км, наибольшей шириной – 2,8 км. Показатель условного водообмена равен 1,55. Территория водосборной площади по типу ландшафтов относится к сочетанию пологих депрессий озерно-ледниковых равнин и денудационных и денудационно-тектонических массивов с прерывистым чехлом четвертичных отложений с высотами до 631,0 м (г. Куорпукас). Берега озера высокие, покрытые горными и техногенными пустошами, частично поросшие смешанными лесами. Хвойные леса в значительной степени деградированы. Вследствие осадения кислотных выбросов комбината, взрывных работ, размещения шлаковых отвалов, карьерных разработок на огромной территории природный ландшафт значительно модифицирован, разрушены горные вершины и изменена орография. По качеству вод озеро является одним из самых загрязненных на Севере Европы [17, 74]. Через р. Колосйоки оно получает сточные воды комбината «Печенганикель» (производственные шахтные воды, стоки шлакохранилищ). В озеро также поступают коммунально-бытовые стоки поселка городского типа Никель. Воды поверхностного стока выносят в водоем осаждающи-



▲ - места сбора ихтиологических выборок

● - отбор гидрохимических и гидробиологических проб

Станции :

- 1 - Белый камень
- 2 - Гольфстрим
- 3 - Сальмиярви
- 4 - Колос-Йоки
- 5 - Шуони-Йоки
- 6 - Протока

Объекты :

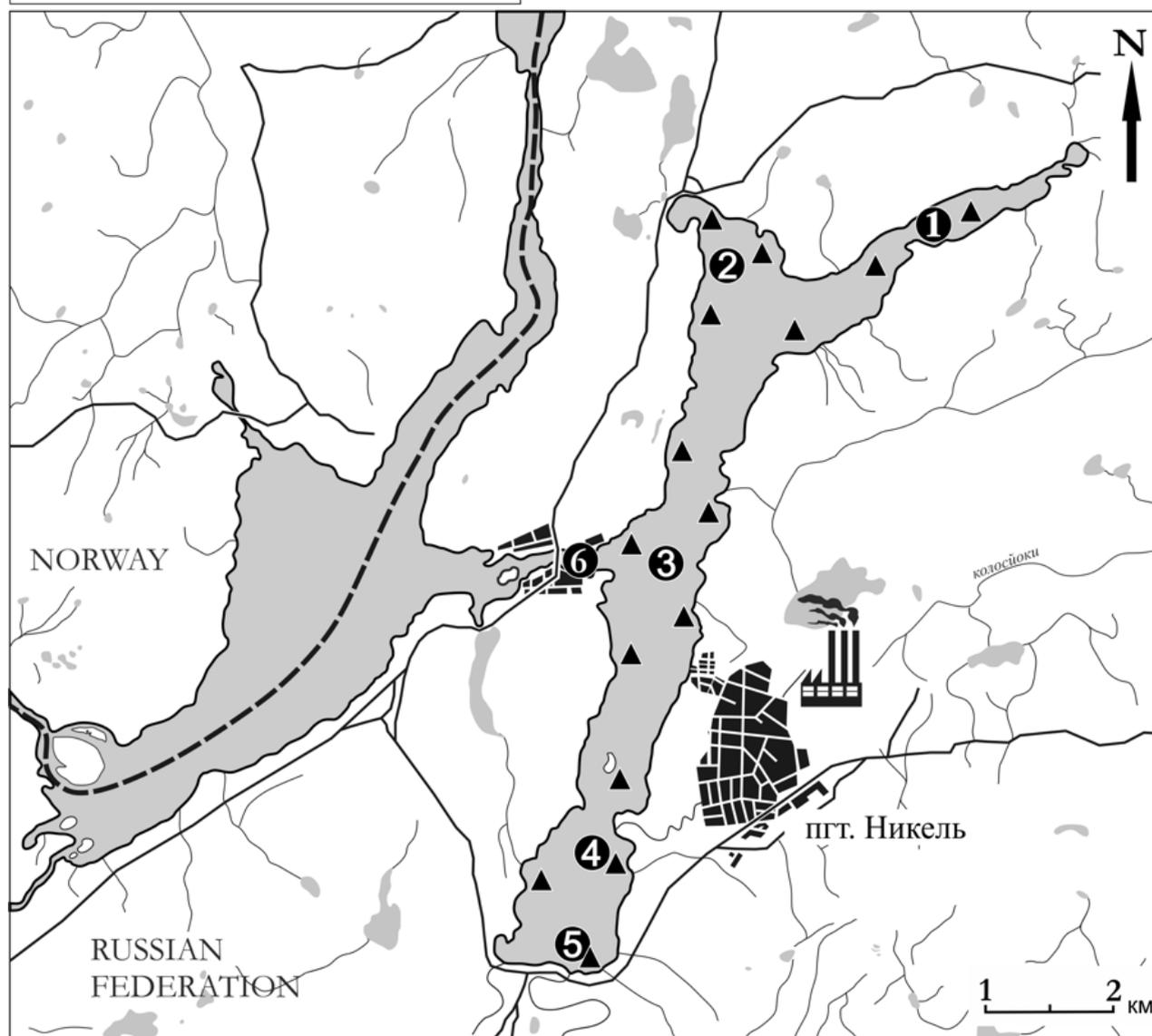


Рис. 1. Карта-схема оз. Куэтсьярви

еся на территории водосбора тяжелые металлы. Их подвижность в природных средах увеличивается в результате техногенного закисления [64]. Основными загрязняющими элементами являются Ni, Cu и Co, а также сопутствующие – Pb, As, Cd и Hg.

Гидрохимические исследования. Гидрохимический мониторинг оз. Куэтсьярви проводился с 1989 по 2016 г. на станции, находящейся на протоке, соединяющей озеро с озерно-речной системой р. Пасвик (рис. 1). Химический состав донных отложений исследован в колонке, отобранной с самой глубокой акватории Куэтсьярви – станции Белый Камень (глубина 32 м) (рис. 1). Пробы воды с поверхностного слоя (1 м от поверхности) и придонного слоя (1 м от дна) озера отбирались 2-литровым пластиковым батометром. Химический состав воды определяли в центре коллективного пользования ИППЭС Кольского НЦ РАН по единым методикам [24, 73]. Методы отбора колонок донных отложений, пробоподготовки и химического анализа описаны ранее [6]. Экологическое состояние пресноводной системы оценивалось по методике Л. Хокансона [53]. Контроль точности определения содержания химических элементов проводился сравнением с результатами анализа стандартного образца L6M (проба донных отложений, Центр окружающей среды Финляндия (SYKE) 06/2008), а также участием в сравнительных испытаниях в рамках международной интеркалибрации [54].

Гидробиологические исследования. Отбор и анализ проб фитопланктона осуществляли ежегодно в конце июля или начале августа в период 2007–2015 гг., зоопланктона – в аналогичные сроки с 1993 по 2015 г. согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 [4] (рис. 1) с использованием рекомендованных стандартных методик [1, 25, 32, 66] по схеме, описанной ранее [9, 10]. В 2012 и 2013 гг. отбор проб планктона осуществляли во все летние месяцы и в сентябре для оценки особенностей динамики планктона в период гидробиологического лета. Всего были отобраны 112 и 120 проб фито- и зоопланктона соответственно. Таксономические названия водорослей и цианопрокариот были приведены в соответствии с международной альгологической базой данных [51]. На основе таксономического состава фитопланктона была произведена оценка качества вод (с определением класса) на основе индекса сапробности (S) методом Пантле и Букк в модификации Сладечека [34, 67]. Экологические характеристики обнаруженных таксонов были взяты из работы авторов [2]. Концентрации фотосинтетических пигментов рассчитывали стандартными общепринятыми в мировой и отечественной практике методами [22, 49]. Оценку трофического статуса по содержанию хлорофилла «а» и уровню биомассы фито- и зоопланктона проводили по шкале, предложенной С.П. Китаевым

[18]. Для оценки состояния сообществ фитопланктона оз. Куэтсьярви в 1994–1998 гг. использовали данные, полученные А.Н. Шаровым [35, 36].

Отбор проб донной фауны в глубоководной зоне (10–32 м) водоема осуществлялся в июле 2009 и 2010 гг. и в августе 2012 и 2013 гг. дночерпателем Экмана-Берджа (площадь захвата грунта – 1/40 м²) (рис. 1). Количественные и качественные сборы из мелководных участков (на глубине <1 м) производили с помощью сачка-скребка, снабженного рамой 30 × 30 см, а также организмы собирали с определенной площади, используя количественную рамку с размерами 25 × 25 см. Далее грунты промывали непосредственно на водоеме, а выбранные животные фиксировали 4% раствором формалина или 70% раствором этилового спирта. Всего были отобраны 22 пробы. Анализ бентосных проб проводили с использованием рекомендованных стандартных методик [32]. Определение беспозвоночных проводили по «Определителю зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России» [26], «Определителю пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий» под редакцией С.Я. Цалолихина [27–28] и «An introduction the aquatic insects of North America» [63].

Ихтиологические исследования. Рыбу отлавливали стандартными наборами ставных жаберных сетей из монофиламента. В литоральной зоне (на глубине 1,5–3,0 м) устанавливались сети длиной 25 м, высотой 1,5 м и размером ячеек 10–60 мм (что обеспечивало вылов рыбы длиной ≥5 см). Сети устанавливали порядками по 1–2 сети перпендикулярно берегу в местах с песчано-гравийными отмелями и крупными валунными отложениями. В профундальной зоне с глубинами более 18 м использовали до 10 разноячеистых сетей в один ряд. В пелагической зоне водоема для отбора ихтиологического материала применяли плавные мультиразмерные сети высотой 3 м. Места сбора ихтиологических выборок представлены на рис. 1. За период с 1990 по 2015 г. изучены экземпляры разных видов рыб общей численностью 3121. Подробная информация об объеме материала и времени лова рыб представлена в табл. 1.

Обработку материала проводили по методике Г.П. Сидорова и Ю.С. Решетникова [33]. Массу рыб определяли с точностью до 1 г, длину по Смигу (*AC*) измеряли с точностью до 1 мм. В уловах 1990–1998 гг. у окуня измеряли только промысловую длину (*AD*), поэтому линейные характеристики окуня за этот период приведены не будут. Для выделения внутривидовых форм у сига подсчитывали тычинки на первой жаберной дуге. Рыбы были отнесены к принимающим участие в нересте, если их гонады достигли стадии половой зрелости: у сига и ряпушки – III–IV [30], у окуня и щуки – II–III (из осенних уловов) и III–IV.

Табл. 1

Характеристика использованного ихтиологического материала из оз. Куэтсьярви, 1990–2015 гг.

Период исследований	Число рыб разных видов в уловах						
	Кумжа <i>Salmo trutta</i> L.	Сиг <i>Coregonus lavaretus</i> (L.)	Ряпушка <i>Coregonus albula</i> (L.)	Хариус <i>Thymallus thymallus</i> (L.)	Щука <i>Esox lucius</i> L.	Окунь <i>Perca fluviatilis</i> L.	Налим <i>Lota lota</i> (L.)
Август 1990 г.	6	150	–	1	51	45	1
Сентябрь 1991 г.	–	371	–	–	28	40	–
Июнь-сентябрь 1992 г.	–	225	–	–	–	–	–
Июнь-сентябрь 1998 г.	–	373	–	–	2	5	7
Август 2004	–	468	37	1	12	54	–
Август 2005	1	23	–	–	–	17	–
Август 2007	2	177	–	–	1	57	–
Сентябрь 2009	–	113	1	–	–	1	6
Июль-август 2012 г.	5	363	23	–	12	33	7
Июль-сентябрь 2013 г.	–	90	5	–	7	13	–
Сентябрь 2015 г.	2	201	34	–	2	45	2

Примечание: – – отсутствие в выборке.

Результаты и обсуждение

Гидрохимия озера. Воды оз. Куэтсьярви относятся к нейтральным (рН 6,86–7,48). В начале летнего периода значения рН ниже за счет поступления более кислых талых вод с территории водосбора (рис. 2а). Среди ионов в воде оз. Куэтсьярви преобладают SO_4^{2-} и Ca^{2+} , хотя поверхностные воды Мурманской области в незагрязненных районах в большинстве случаев относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой или натриевой группе [22]. На всей акватории в анионном составе сульфаты составляют в среднем 59%, кальций – в среднем 56% катионного состава. Минерализация воды оз. Куэтсьярви за 30-летний период проведения гидрохимического мониторинга достигала 80 мг/л (рис. 2б), что примерно в 4 раза больше медианного значения, характерного для природно олиготрофных поверхностных вод Мурманской области [56]. Наименьшие значения отмечены в весенне-летний период в южной акватории озера в районе впадения рек Шуонийоки и Колосйоки за счет поступления низкоминерализованных талых вод.

Содержание общего фосфора в оз. Куэтсьярви изменяется в пределах 11–37 мкгР/л, составляя в сред-

нем 17 мкгР/л, общего азота – от 156 до 337 мкгN/л, составляя в среднем 237 мкгN/л. Перманганатная окисляемость в Куэтсьярви изменяется в пределах 3,78–4,62 мг/л, цветность вод имеет достаточно низкие значения в весенний (19–26 °Pt), летний (15–18 °Pt) и осенний (16–17 °Pt) периоды. Содержание Ni в оз. Куэтсьярви изменяется в пределах 110–161 мкг/л, составляя в среднем 133 мкг/л (рис. 3а), Cu – от 10,4 до 22,0 мкг/л, составляя в среднем 14,5 мкг/л (рис. 3б). Содержание Cd, Pb и Co в воде озера близки к пределу обнаружения и составляют в среднем 0,1–0,9 мкг/л.

В течение последних 30 лет в условиях продолжающегося загрязнения происходит уменьшение минерализации воды оз. Куэтсьярви за счет значимого снижения ($p < 0,01$) содержания главных ионов SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ и K^+ , но увеличивается содержания токсичных ТМ (Ni и Cu), которые превышают фоновые содержания в поверхностных водах Мурманской области [56] в десятки и сотни раз (Ni – более чем в 200 раз, Cu – в 20 раз). Концентрация SO_4^{2-} в воде озера более чем в 2 раза превышает содержание второго преобладающего аниона HCO_3^- в пересчете на эквивалентную концентрацию.

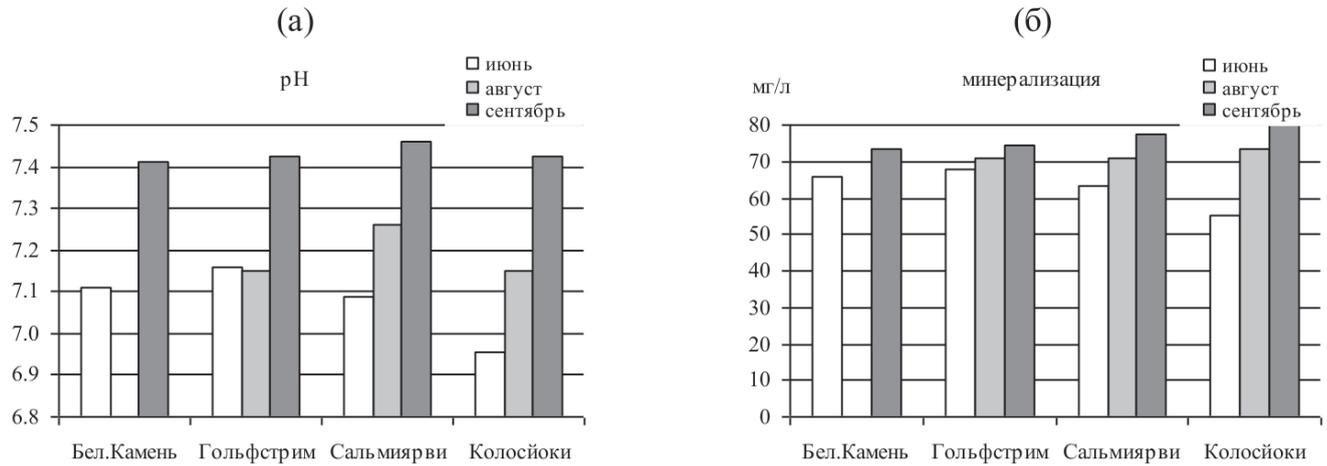


Рис. 2. Сезонные изменения pH (а) и общей минерализации, мг/л, (б) в оз. Куэтсыярви, 2013 г.

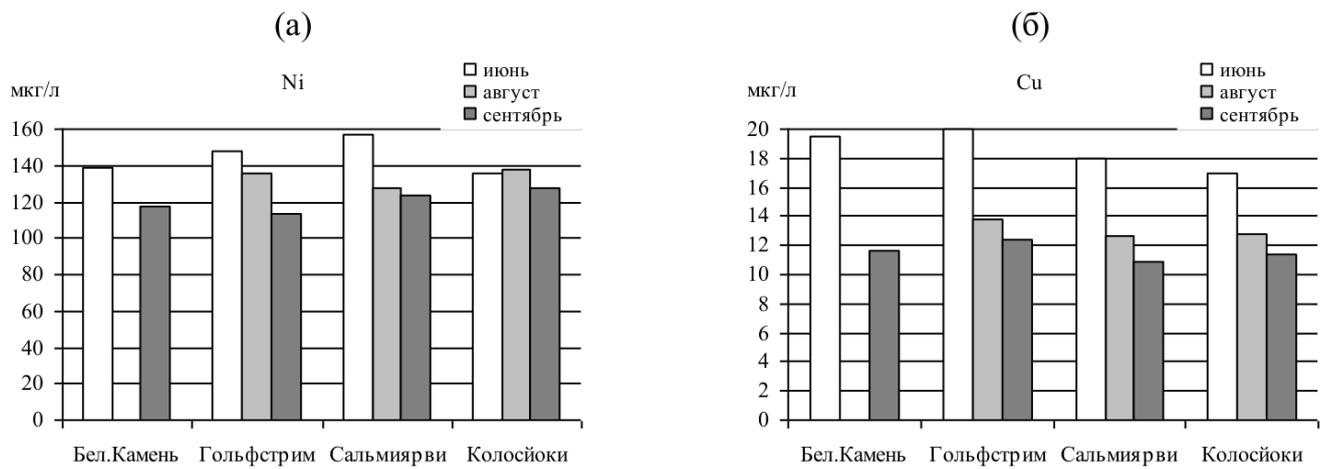


Рис. 3. Сезонные изменения содержания Ni (а) и Cu (б), мкг/л, в оз. Куэтсыярви, 2013 г.

Табл. 2

Концентрации тяжелых металлов (мкг/г сухого веса) в донных отложениях станции Белый Камень (глубина 32 м) в оз. Куэтсыярви и величины коэффициента загрязнения (C_f)

Слой ДО, см	Ni	Cu	Zn	Co	Cd	Pb	As	Hg	C_d
0–1	4032	1343	240	184,1	3,14	36,1	43,1	0,417	
22–23	32	40	80	15,9	0,10	6,6	2,62	0,049	
C_f	125,7	33,5	3,0	11,6	32,1	5,5	16,4	8,5	236,2

По результатам исследования, проведенного Гидрохимическим институтом в 1969–1971 гг., для оз. Куэтсъярви было характерно равномерное распределение большинства элементов по различным зонам и по водным горизонтам [3]. Подобная тенденция сохраняется и в настоящее время. Содержание основного для озера загрязняющего ТМ Ni в южной части озера (в непосредственной близости от стоков комбината) всего на 15% выше, чем в северной.

Сравнение данных по общим концентрациям Ni и Cu показало, что за полвека произошло значительное увеличение их содержания (рис. 4). Увеличивается содержание не только приоритетных загрязняющих металлов, но также и Fe и Mn, входящих в состав перерабатываемой на комбинате руды.

Также за последние 30 лет отмечается значимое увеличение ($p < 0,01$) показателей содержания органического материала в воде озера – химического потребления кислорода (ХПК) и содержания органического углерода ($C_{орг.}$) (рис. 4), что говорит об интенсификации процессов эвтрофирования водоема. При этом донные отложения (далее ДО) в оз. Куэтсъярви характеризуются не очень значительным содержанием органического материала – значение ППП (потеря веса при прокаливании) в поверхностном слое достигает 20%. Доминирующими загрязняющими элементами являются Ni, Cu, Zn и Co, а также сопутствующие халькофильные элементы – Pb, As, Cd и Hg (рис. 5). Наиболее загрязненными являются верхние 5–10 см ДО озера. Такие элементы, как Cu, Co, Pb, Cd, имеют поверхностные максимумы в ДО оз. Куэтсъярви. Остальные исследуемые ТМ (Ni, Zn, As и Hg) характеризуются максимальными концентрациями на глубине 2–5 см ДО озера (рис. 5). Уменьшение концентраций этих элементов в верхних 1–4 см ДО оз. Куэтсъярви может быть объяснено изменениями физико-химических условий в самом озере и на территории его водосбора, а также уменьшениями стоков и выбросов ТМ комбинатом «Печенганикель». Сброс Ni с 1990 по 2007 г. сократился с 12,9 до 4,4 т/год, а его выбросы в атмосферу в этот период остаются примерно одинаковыми и находятся в пределах 300–350 т/год (<http://www.kolagmk.ru/>).

Величины коэффициента загрязнения C_f Ni, Cu, Cd, As и Hg находятся в пределах от 8,5 до 125,7 (табл. 2), то есть соответствуют высокому загрязнению по классификации Л. Хокансона [53]. Наибольшие значения C_f имеют Ni, Cu и Cd. Значение степени загрязнения C_d (сумма всех значений C_f для восьми ТМ), рассчитанное для этого озера (236,2), соответствует высокому.

Несмотря на снижение антропогенной нагрузки в последние годы, оз. Куэтсъярви в течение 30 лет является одним из самых загрязненных водоемов бассейна р. Пасвик [7, 43–48].

Планктонные сообщества. Можно выделить три крупных периода развития планктонных сообществ оз. Куэтсъярви, отличающихся составом доминирующих таксонов и количественных показателей: I – 1994–1998 гг.; II – 2007–2011 гг.; III – 2012–2015 гг. Средние значения биомассы фитопланктона и содержания хлорофилла «а» за весь период исследований соответствовали β -мезотрофному трофическому статусу (табл. 3).

А.Н. Шаровым [35, 36] было показано, что в период I в южной части доминировали диатомовые, а в северной – зеленые водоросли (*Pandorina morum* (Müll.) Vogt, 1827), многочисленными были золотистые водоросли (*Dinobryon sociale* (Ehrb.) Ehrb., 1834). В период II произошли изменения в структуре доминирования – увеличилась доля цианопрокариот (*Microcystis pulverea* f. *delicatissima* (W. & G.S. West) Elenk., 1938) и представителей сем. *Fragilariaceae* на фоне увеличения средней биомассы и содержания хлорофилла «а». Как и в предыдущий период, высока была доля зеленых водорослей (до 39%) в северной части озера. Дальнейшие изменения сообществ фитопланктона (период III) были связаны с ростом численности цианопрокариот (*Pseudanabaena* sp.), особенно ближе к концу вегетационного сезона, и зеленых водорослей (до 51%), доля которых возросла не только в северной, но и в южной части водоема. Сократилась доля золотистых и диатомовых водорослей, наряду с увеличением биомассы и содержания хлорофилла «а». Тренд на увеличение биомассы фитопланктона в оз. Куэтсъярви с 1994 по 2015 г. свидетельствует об интенсификации продукционных процессов в водоеме: среднее значение биомассы выросло в 2 раза (табл. 3). При этом также увеличились максимальные значения биомассы фитопланктона за сезон (до 10,68 г/м³).

Динамика фитопланктона в период гидробиологического лета (в 2012–2013 гг.) отличалась высоким уровнем биомассы (до 7 г/м³), начиная с июня, что характерно для мезотрофных водоемов, причем наибольшую долю (свыше 40%) в составе сообществ составляли зеленые водоросли. В июле биомасса сохранялась на этом же уровне, доля зеленых водорослей увеличивалась (свыше 53%), причем наиболее обильными были представители вольвоксовых и хламидомонады; уменьшалась доля диатомовых, практически исчезли динофитовые и золотистые водоросли. В июле также развивались цианопрокариоты – *Pseudanabaena* sp. К августу биомасса водорослей снижалась, преимущественно вследствие замедления процессов вегетации зеленых водорослей (до 1,4 г/м³), из состава сообществ полностью исчезали золотистые, уменьшилась доля цианопрокариот; обилие диатомовых сохранялось на прежнем уровне.

Совместное действие климатических изменений и загрязнения окружающей среды носит сложный

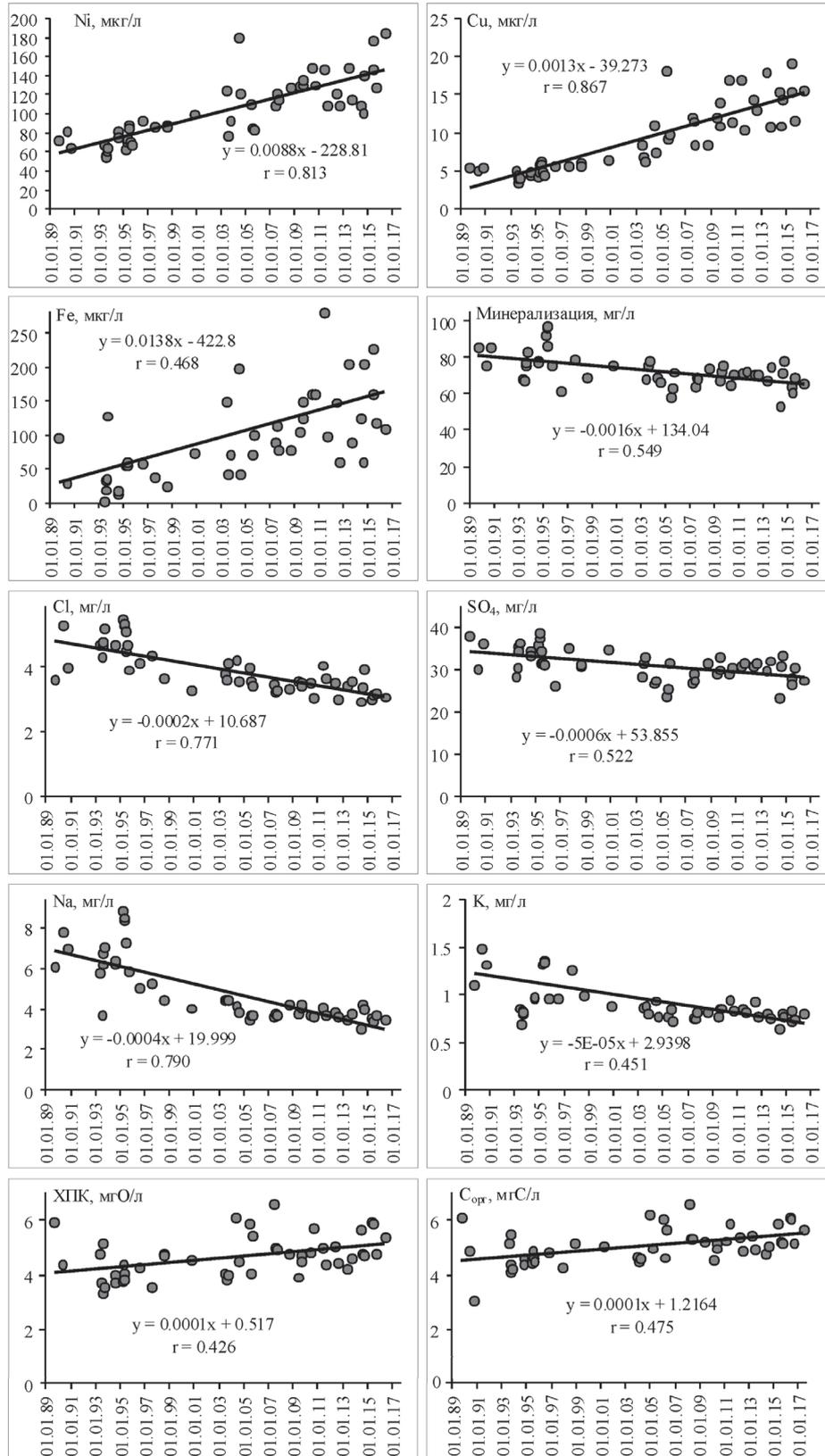


Рис. 4. Динамика гидрохимических показателей в оз. Куэтсыярви за период с 1989 по 2016 г. Для выборок с $n = 52$ зависимости достоверны при $p < 0,01$, когда $r > 0,354$

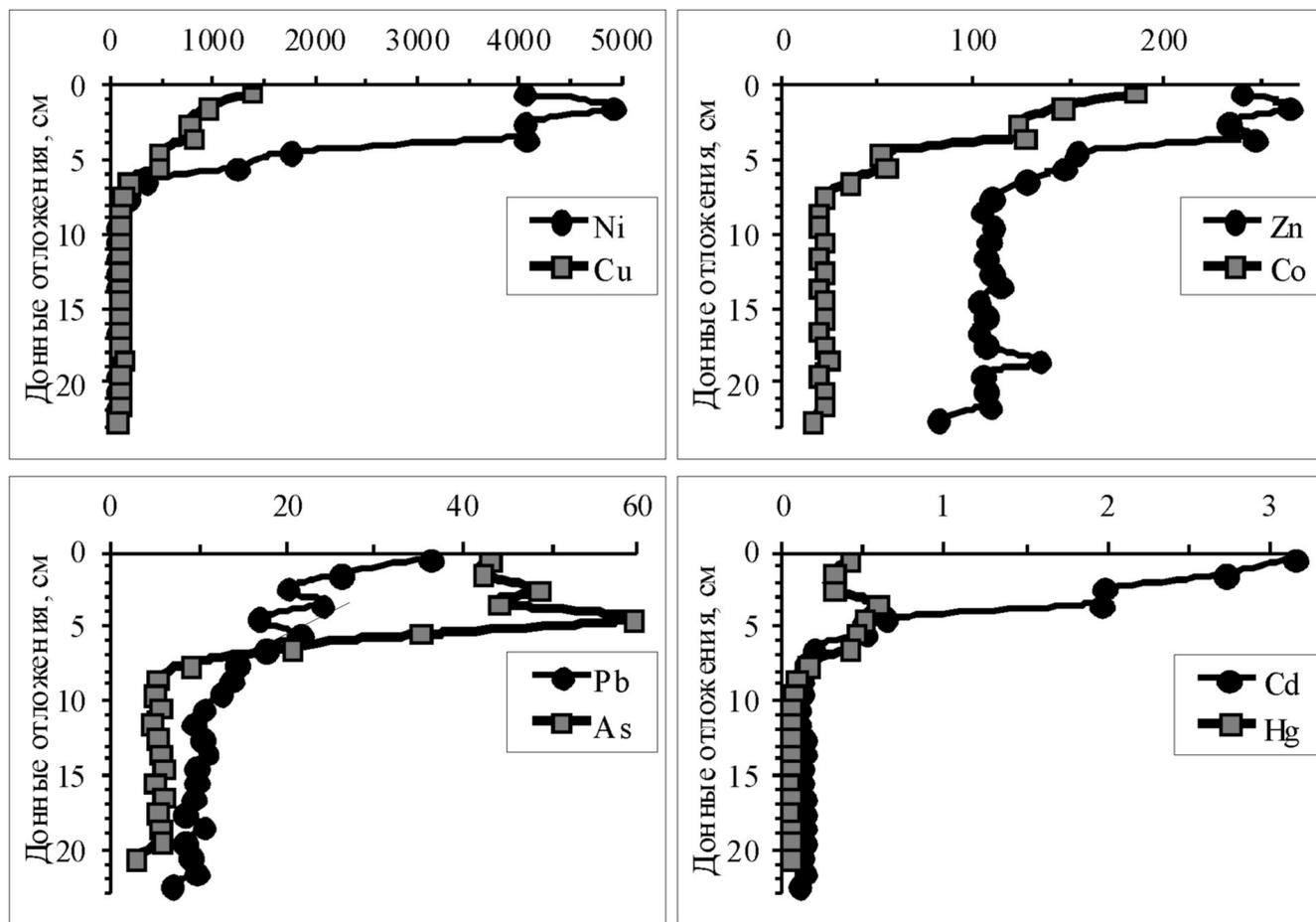


Рис. 5. Вертикальное распределение содержания тяжелых металлов (мкг/г) в донных отложениях оз. Куэтсыярви

характер, вызывает глубокие перестройки в арктических пресноводных экосистемах. Наиболее значительные изменения наблюдаются в сообществах фитопланктона: за последние 20 лет произошла смена доминирующих таксонов, выросла доля зеленых водорослей и цианопрокариот наряду с сокращением доли диатомовых и золотистых, характерных для арктической зоны, при этом средняя биомасса фитопланктона в несколько раз превышала фоновые показатели. Значения индекса сапробности свидетельствуют об изменении класса качества вод с III на II. Вероятно, это говорит не об интенсификации процессов самоочищения водоема, а, напротив, иллюстрирует рост токсической нагрузки, при которой активно развиваются устойчивые к загрязнению виды. Это подтверждается многолетними трендами на увеличение содержания тяжелых металлов в воде. Мощным модулятором наблюдаемых изменений также выступает потепление климата Арктики, способное усиливать последствия эвтрофирования вод [74]. Снижение индекса сапробности иллюстрирует изменения в гидрохимических условиях формирования вод, в частности, соотношения токсической и трофической на-

грузки на озеро на фоне потепления климата. Летняя динамика фитопланктона оз. Куэтсыярви также имеет не типичный для субарктических озер ход в связи с интенсивным развитием зеленых водорослей, начинающих активно вегетировать уже с июня.

Для зоопланктоценоза озера периода I характерны низкие величины численности и биомассы – 44,7–62,0 тыс. экз/м³ и 0,2 г/м³ соответственно (табл. 3). Доминировали коловратки *Kellicottia longispina* Kellicott, 1879, *Keratella cochlearis* Gosse, 1851, *Keratella quadrata* Müller, 1786, *Notholca* sp., *Polyarthra* sp. и ветвистоусые рачки-фильтраторы *Bosmina obtusirostris* Sars, 1862, и *Daphnia cristata* Sars, 1862. Соотношение основных таксономических групп Rotifera:Cladocera:Сopepoda отражает преобладание коловраток по численности (74,7–87,6%) и кладоцер по биомассе (58,4–79,9%) (табл. 3). Мирные формы превалировали над хищными (показатель $V_3/V_2 < 1$). Индекс видового разнообразия Шеннона по численности $H(N)$ варьировал в пределах 2,0–2,6 бит./экз., средняя индивидуальная масса зоопланктона сообщества ($w = B/N$) – 0,003–0,006 мг. Трофический статус озера характеризовался как очень низкий – α -олиготрофный (табл. 3).

Динамика некоторых показателей сообществ фитопланктона и зоопланктона оз. Куэтсьярви в различные периоды исследований

(В – биомасса; B_3 – биомасса хищного зоопланктона, B_2 – «мирного» зоопланктона; N – общая численность, Chl «a» – содержание хлорофилла «a»; H(N) – индекс видового разнообразия Шеннона по численности; $w = B/N$ – средняя индивидуальная масса зоопланктона сообщества; S – индекс сапробности; K – класс качества; T – трофический статус вод)

Показатель	Период исследований		
	1996–1998	2007–2011	2012–2015
ФИТОПЛАНКТОН			
Доминирующие таксоны	<i>Melosira varians</i> <i>Pandorina morum</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Diatoma tenuis</i> <i>Dinobryon sociale</i> <i>Eudorina sp.</i>	<i>Asterionella formosa</i> <i>Fragilaria tenera var. nanana</i> <i>Staurosira construens</i> <i>Diatoma tenuis</i> <i>Microcystis pulverea f. delicatissima</i> <i>Dinobryon bavaricum</i>	<i>Asterionella formosa</i> <i>Pseudosphaerocystis lacustris</i> <i>Mucidosphaerium pulchellum</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Pseudanabaena sp.</i>
B, г/м ³	1,33 (1,06–2,05)	1,93 (1,33–2,65)	2,75 (1,23–10,68)
Chl «a», мг/м ³	4,26 (2,71–5,95)	4,76 (0,35–4,04)	5,35 (0,46–28,34)
S	1,92 (1,02–1,44)	1,27 (1,17–1,52)	1,42 (1,30–1,88)
K	III	II	II
T	β – мезотрофный		
ЗООПЛАНКТОН			
Доминирующие таксоны	<i>Kellicottia longispina</i> , <i>Keratella cochlearis</i> , <i>Keratella quadrata</i> , <i>Notholca sp.</i> , <i>Polyarthra sp.</i> , <i>Bosmina obtusirostris</i> , <i>Daphnia cristata</i>	<i>Kellicottia longispina</i> , <i>Keratella cochlearis</i> , <i>Polyarthra sp.</i> , <i>Bosmina obtusirostris</i>	<i>Keratella cochlearis</i> , <i>Notholca sp.</i> , <i>Polyarthra sp.</i>
N, тыс. экз/м ³	44,7–62,0	80,0–147,0	272,1–1254,3
B, г/м ³	0,2	0,1–0,7 (max 7,0)	1,3–3,5
H(N) бит./экз.	2,0–2,6	1,7–2,0	1,1–2,0
B_3/B_2	0,1–0,5	0,01–0,5	0,01–0,9
$w = B/N$, мг	0,003–0,006	0,001–0,005	0,001–0,005
T	α-олиготрофный	Переходный от α- к β-олиготрофному	Переходный от α- к β-мезотрофному

При исследовании показателей зоопланктонного сообщества в период II было выявлено увеличение общей численности организмов примерно в 2 раза (80,0–147,0 тыс. экз./м³) (табл. 3). Величины общей биомассы были сравнимы с таковыми в предыдущий период и составляли 0,1–0,2 г/м³, за исключением северной части озера (ст. Гольфстрим, 0,7 г/м³),

где были отмечены ценные в кормовом отношении крупные ветвистоусые и веслоногие (47,2 и 43,2% общей биомассы соответственно) ракообразные. Мирные формы по-прежнему преобладали над хищными ($B_3/B_2 < 1$), доминировали коловратки *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra sp.* и ветвистоусый рачок *Bosmina obtusirostris*. Индекс Шеннона

снизились до 1,7–2,0 бит./экз., средняя индивидуальная масса зоопланктона сообщества ($w = V/N$) также была невысокой – 0,001–0,005 мг. Тип трофности озера – переходный от очень низкого α - к низкому β -олиготрофному (табл. 3).

Период III отличается аномально высокими количественными характеристиками зоопланктона. Общая численность организмов возросла до 722,8–1254,3 тыс. экз./м³, биомасса – до 1,3–3,5 г/м³ (табл. 3). Преобладали коловратки, составляющие >90% общей численности и 75% общей биомассы организмов, среди которых по-прежнему доминировали *Keratella cochlearis*, *Notholca* sp. и *Polyarthra* sp. Ветвистоусый рачок *Bosmina obtusirostris*, входящий в ядро структурообразующих видов в предыдущие периоды исследований, был отмечен в пробах в незначительном количестве. Индекс видового разнообразия Шеннона не высок (1,1–2,0 бит./экз.), что свидетельствует об усилении доминантности отдельных видов коловраток. Мирные формы преобладали над хищными ($B_3/B_2 < 1$). Средняя индивидуальная масса зоопланктона сообщества была сравнима с таковой двух предыдущих периодов и варьировала в пределах 0,001–0,005 мг, что также отражает массовое развитие мелкоразмерных форм с простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения (коловраток).

Современное сообщество зоопланктона оз. Куэтсъярви демонстрирует снижение численности типичных палеарктических видов и увеличение числа r -стратегов – эврибионтных видов с широкой экологической валентностью, простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения (коловратки). Наблюдается формирование монокультур из устойчивых к загрязнению форм. Ценные в кормовом отношении ветвистоусые ракообразные («тонкие» фильтраторы родов *Bosmina* и *Daphnia*) доминировали лишь в первый (1996–1998 гг.) и второй (2007–2010 гг.) периоды исследований. Чувствительные к загрязнению активные «грубые» фильтраторы (копеподы *Eudiaptomus gracilis*, Sars, 1863, *Eudiaptomus graciloides* Lilljeborg, 1888), играющие значительную роль в процессе самоочищения воды, и представители группы *Cyclopiformes* встречались в пробах в незначительных количествах. В условиях флуктуирующей уровней многофакторной антропогенной нагрузки и изменений климата прослеживается устойчивый тренд к снижению видового разнообразия зоопланктонных сообществ субарктических водоемов, упрощению их структуры, смене доминирующих форм и созданию монокультур из организмов, устойчивых к загрязнению.

Трофический статус озера, согласно «шкале трофности» С.П. Китаева [18], повысился в многолетнем ряду исследований от очень низкого α -олиготрофного

до среднего β -мезотрофного. Это указывает на неблагоприятную экологическую ситуацию в водоеме и свидетельствует о снижении биофильтрационной активности зоопланктона в целом, особенно в третий период начиная с 2012 г., что является результатом комплексного воздействия природных и антропогенных факторов на фоне потепления климата.

Донные сообщества. Бентосные сообщества оз. Куэтсъярви в 1990–1992 гг. характеризовались высоким видовым разнообразием, в водоеме зарегистрировано 56 видов и форм беспозвоночных. Наиболее разнообразной была фауна хирономид, на долю которых приходилась и основная часть количественных показателей (>70% видового состава и 80% общей численности зообентоса) (рис. 6). В зоне литорали были широко распространены хирономиды *Cricotopus*, *Stictochironomus*, *Orthocladius*, *Tanytarsini*, личинки ручейников *Limnephilidae* и *Polycentropodidae*, моллюски *Pisidium* sp. и водные жуки. В профундальной зоне водоема (на глубинах 14–15 м) доминировали хирономиды *Chironomus* sp. и *Sergentia* sp., олигохеты *Tubifex tubifex* Müller, 1774, в незначительных количествах были представлены моллюски *Pisidium* sp. Средние значения численности и биомассы глубоководного зообентоса оз. Куэтсъярви (на глубинах 15–20 м) в 1990–1992 гг. составляли 2267 экз./м² и 12,1 г/м² [37, 62] (рис. 7).

По результатам исследований, проведенных в 2009–2013 гг., разнообразие бентосной фауны оз. Куэтсъярви не изменилось, выявлено 28 видов и надвидовых таксонов. Наиболее чувствительные к загрязнению группы – поденки, веснянки, пиявки и ракообразные, как и в предыдущий период исследований, в пробах не обнаружены (рис. 6, 7).

Численность бентофауны в прибрежной зоне составляла в среднем 1680 экз./м², биомасса – 7,5 г/м². Основу литоральных сообществ зообентоса формировали хирономиды *Cricotopus silvestris* gr. и *Procladius choreus* gr., субдоминантами были ручейники и полужесткокрылые. С увеличением глубины разнообразие фауны и количественные показатели зообентоса снижались. Основу донной фауны глубоководных участков оз. Куэтсъярви формировали хирономиды *Sergentia coracina* Zett., 1850, *Chironomus* sp., *Prodiamesa olivacea* Meigen, 1818 (30–45% общей численности и 50–70% общей биомассы зообентоса) и олигохеты *T. tubifex* (53 и 27% соответственно). Численность зообентоса в зоне профундали составляла в среднем 506 ± 77 (69–1660) экз./м², биомасса – $2,1 \pm 0,3$ (0,3–8,3) г/м².

Таким образом, за период с 1990 по 2013 г. произошли изменения структуры и количественных показателей глубоководного зообентоса оз. Куэтсъярви – численность снизилась в 4,5 раза, биомасса – в ~6 раз, в структуре донных сообществ возросла доля олигохет.

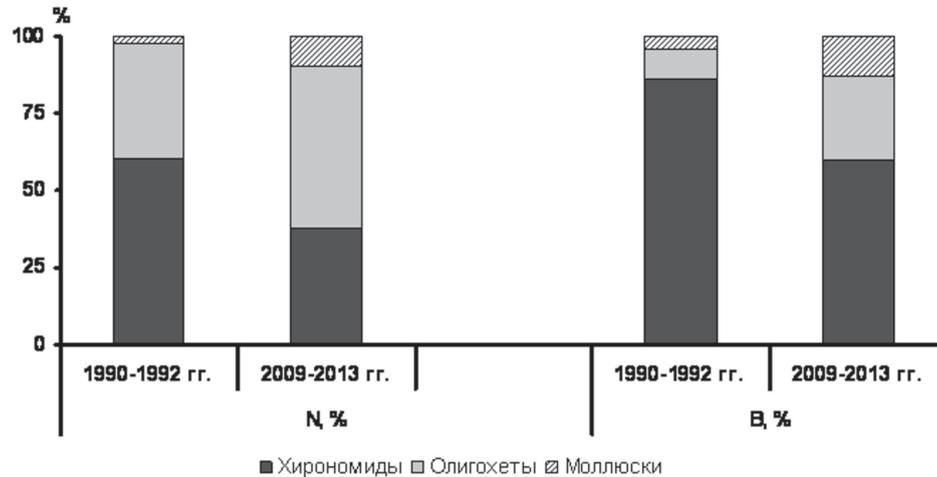


Рис. 6. Структура сообществ зообентоса глубоководной зоны оз. Куэтсьярви (1990–1992 гг. – по Lukin et al., 2003; 2009–2013 гг. – собственные данные); В – биомасса, %, N – общая численность, %

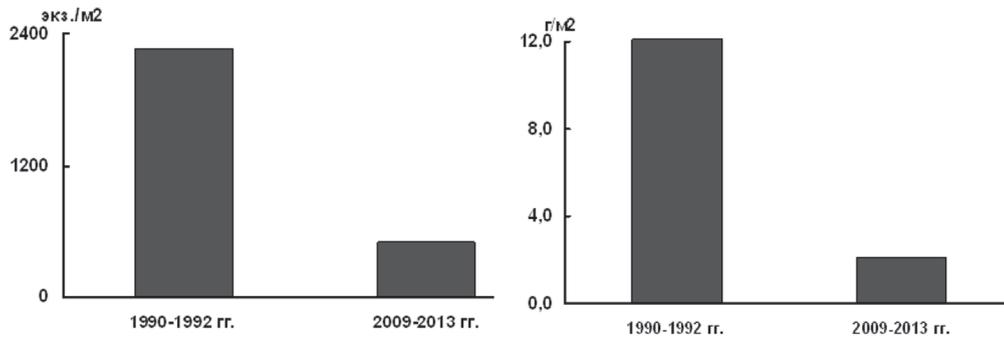


Рис. 7. Средняя численность, экз./м², и биомасса, г/м², зообентоса глубоководной зоны оз. Куэтсьярви (1990–1992 гг. – по Lukin et al., 2003; 2009–2013 гг. – собственные данные)

Определенный вклад в снижение общей биомассы глубоководного зообентоса вносит такой фактор, как индивидуальные размеры олигохет: их более мелкие размеры, по сравнению с доминирующими видами хирономид, отражаются на значениях общей биомассы зообентоса водоема. Снижению количественных показателей бентоса способствует продолжающееся накопление загрязняющих веществ в поверхностных слоях ДО [5, 7], что вызывает дальнейшую деградацию донных сообществ. Увеличение относительной плотности олигохет свидетельствует об усилении процессов эвтрофикации водоема и накоплении в поверхностных слоях ДО биогенных элементов, в частности фосфора [7].

Ихтиофауна. С учетом периодов, выделенных при анализе состояния планктонных сообществ, полученные ихтиологические данные по оз. Куэтсьярви за по-

следние 25 лет условно были разделены на 3 периода исследования, что также облегчило анализ биологических характеристик рыб: 1990–1998 гг. (или период I), 2004–2009 гг. (период II), 2012–2015 гг. (период III).

Состав ихтиофауны озера включает представителей восьми аборигенных видов, относящихся к восьми семействам рыб: кумжа *Salmo trutta* Linnaeus, 1758, сиг *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758), хариус *Thymallus thymallus* Linnaeus, 1758, щука *Esox lucius* Linnaeus, 1758, окунь *Perca fluviatilis* (Linnaeus, 1758), налим *Lota lota* Linnaeus, 1758, голянь *Phoxinus phoxinus* (Linnaeus, 1758), девятииглая колюшка *Pungitius pungitius* Linnaeus, 1758. Среди видов-вселенцев следует отметить европейскую ряпушку *C. albula* (Linnaeus, 1758), интродуцированную с 1960-х гг. в финском оз. Инари и впоследствии (с начала 1990-х гг.) распространившуюся по всему бассейну р. Пасвик [14, 40]

Состав уловов рыб, %, в оз. Куэтсьярви, 1990–2015 гг.

Вид	Период исследований, гг.		
	1990–1998	2004–2009	2013–2015
Кумжа	0,5	0,3	0,8
Сиг	85,7	80,5	77,4
Ряпушка	0,0	3,9	7,3
Хариус	0,1	0,1	0,0
Щука	6,2	1,3	2,5
Окунь	6,9	13,3	10,8
Налим	0,6	0,6	1,2

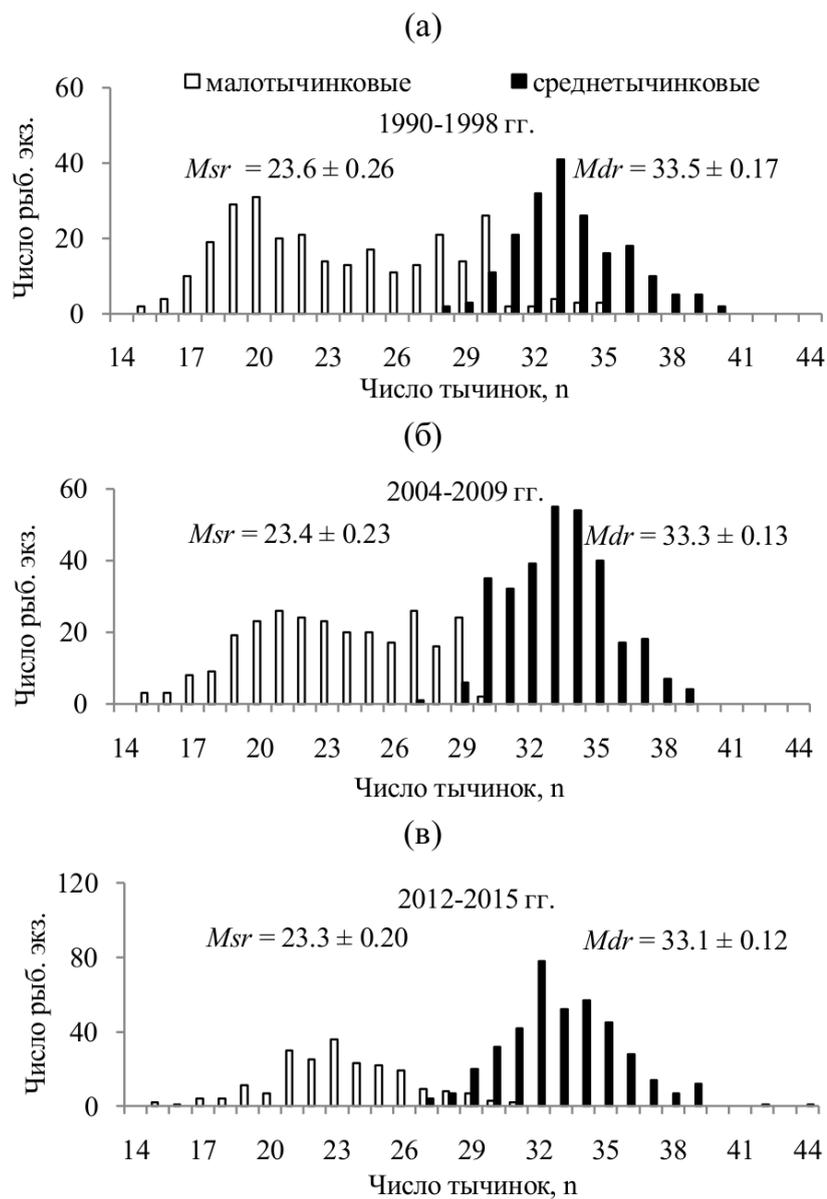


Рис. 8. Распределение сига в оз. Куэтсьярви по числу тычинок на первой жаберной дуге, 1990–2015 гг.: $M \pm m$ – среднее значение и ошибка среднего; sr – малотычинковый сиг; dr – среднетычинковый сиг

Во все периоды исследования в уловах доминировал сиг (табл. 4). Также многочисленными видами в озере были окунь, щука и интродуцированная ряпушка. С периода II исследования наблюдается тенденция снижения доли сига в уловах до 77% (табл. 4). Доля щуки в уловах за это время сократилась более чем в 2 раза, при этом возросла доля окуня и интродуцированной ряпушки. Учитывая вышесказанное, далее будут приводиться биологические показатели сига, ряпушки, щуки и окуня.

Во все периоды исследования сиг был представлен двумя формами – малотычинковой (15–35 жаберных тычинок, в среднем $23,5 \pm 0,14$) и среднетычинковой (27–44 жаберных тычинок, в среднем $33,2 \pm 0,08$) (рис. 8а, б, в). О реальном соотношении двух форм сига в Куэтсьярви можно судить по выборкам II и III периодов исследования, где жаберный аппарат был исследован у 99% особей. Так, в период II соотношение малотычинкового и среднетычинкового сига в уловах составило примерно 1 (263 экз.):1 (308 экз.), в то время как в период III – среднетычинковые сиви преобладали в уловах в соотношении примерно 2 (400 экз.):1 (213 экз.).

Средние размерно-весовые показатели выборок малотычинкового сига оз. Куэтсьярви были всегда выше таковых у среднетычинкового ($p < 0,001$) (табл. 5). Причем эти показатели у малотычинкового сига в периодах I и III значимо не различались и были выше ($p < 0,001$), нежели у рыб в период II, в то время как у среднетычинкового сига они имели большие значения в период III ($p < 0,001$) (табл. 5).

На частотном распределении среднетычинкового сига по длине и массе во все периоды исследования явно выделяются два пика (рис. 9а–е), что позволяет условно выделить мелких и крупных особей сига. Причем от 1990 к 2015 г. наблюдается тенденция схождения мелких и крупных особей среднетычинкового сига с изменением их количественного соотношения – растет число крупных рыб, что и обуславливает увеличение средних размерно-весовых характеристик данной формы сига в периоде III. У малотычинкового сига картина распределения по размерно-весовым характеристикам в периоде I имеет более сложный вид – несколько выраженных пиков, в остальные – можно отчетливо увидеть только один (рис. 9а–е).

В размерно-весовых показателях выборки щуки в разные периоды исследования прослеживаются такие же изменения, как и у малотычинкового сига озера ($p < 0,01$) (табл. 5, рис. 9а–е).

Ряпушка в период II имела большую среднюю длину и массу, чем в период III ($p < 0,01$) (табл. 5): растет доля рыб размером до 100 мм (от 18 до 44%) (рис. 9б, в, д, е). Но при этом в период III появляются более крупные особи, чем в период II: длиной до 160 мм и массой выше 20 г (рис. 9б, в, д, е).

Окунь в целом по выборке в периоды I и II исследования был представлен особями значимо большей длины и массы, нежели в период III ($p < 0,01$) (табл. 5). В периоды исследования с I по III наблюдается рост крайних максимальных значений веса рыб. Как и у сига, на частотном распределении окуня по длине и массе можно выделить несколько пиков (рис. 9б, в, г, д, е). Причем в периоды II и III пики распределения особей имеют разное расположение. В период II большая часть окуней имела длину 120–220 и 220–300 мм, массу 30–240 и 240–450 г. Таким образом, здесь тоже можно говорить о мелких и крупных группах окуней. В период III можно выделить две группы окуней меньшей длины – 140–180 и 180–260 мм. Выделенные группы имели массу 30–260 г (рис. 9б, в, г, д, е).

Особь обеих форм сига и ряпушки в оз. Куэтсьярви во все три периода исследования начинали созревать при близкой длине и массе: 80–116 мм и 4–14 г соответственно (табл. 6). Средние размерно-весовые показатели половозрелого малотычинкового сига имели большие значения по сравнению с остальными представителями сиговых рыб (табл. 6). Окунь в оз. Куэтсьярви начинает созревать при длине и массе соответственно 119–128 мм и 23–28 г, щука при длине 310–400 мм и массе 207–471 г. В целом, изменения средних показателей длины и массы половозрелых особей в разные периоды исследования имели такие же особенности, как и изменения средних размерно-весовых показателей в целом по выборке (табл. 5 и 6).

Изменения структуры рыбной части сообщества озера выражаются в снижении доли олиготоксобного вида (сиг) [14, 23, 29] и увеличении доли эврибионтного окуня и интродуцированной ряпушки. Несмотря на то что ряпушка впервые была зарегистрирована в оз. Куэтсьярви в 1995 г. [40], ее численность в последующие десять лет росла не такими быстрыми темпами, как это наблюдалось в верхнем течении системы р. Пасвик (Рускебухта) в 1991–1995 гг. Это связано, скорее всего, с отсутствием подходящих условий для нереста ряпушки в озере, и пополнение ее численности происходит за счет миграции рыб из р. Пасвик. Доминантным в пелагиали оз. Куэтсьярви остается среднетычинковый сиг (54%; по данным уловов 2015 г.), на долю ряпушки здесь приходится 29%, остальные 17% принадлежат окуню.

Несмотря на то что на протяжении последних 30 лет оз. Куэтсьярви является одним из наиболее загрязненных водоемов в Мурманской области, сиг здесь сохраняет высокую численность и сложную популяционную структуру, характерную для системы Инари-Пасвик в целом [52, 57–61, 69–71, 75]: образует малотычинковую и среднетычинковую формы, которые в свою очередь образуют субгруппировки, различающиеся темпами роста («мелкие» и «крупные») [12]. С учетом также и вышеописанных изменений в со-

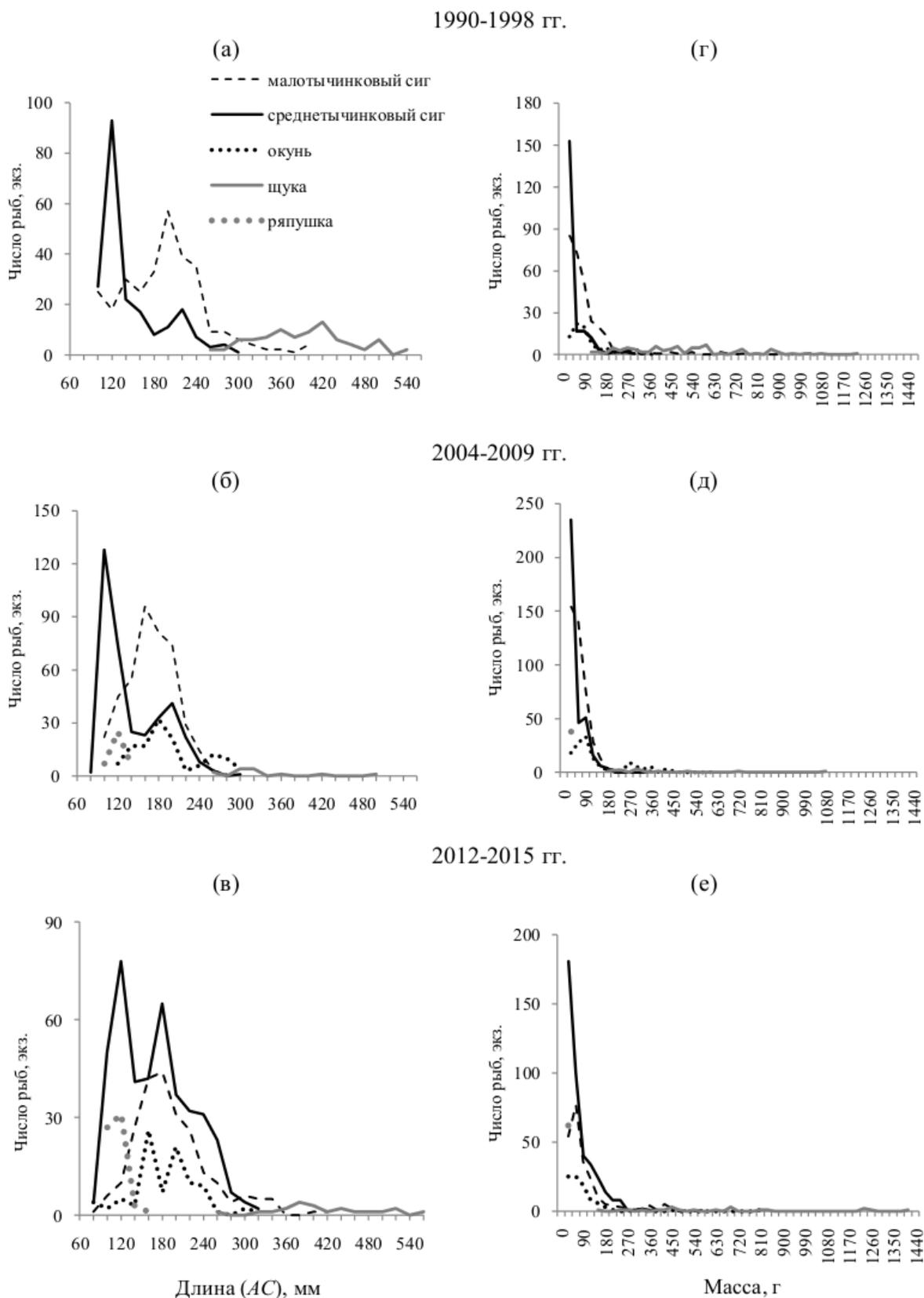


Рис. 9. Частотное распределение сига, ряпушки, щуки и окуня по длине (АС), мм (а, б, в), и массе, г (г, д, е), в оз. Куэтсьярви, 1990–2015 гг.

Средние размерно-весовые характеристики выборок рыб в оз. Куэтсьярви, 1990–2015 гг.

Вид	Длина (АС), мм	Масса, г
1990–1998 гг.		
Сиг, малотычинковый	$\frac{195 \pm 3,7}{88-465 (318)}$	$\frac{117 \pm 9,8}{4-1300 (318)}$
Сиг, среднетычинковый	$\frac{139 \pm 3,3}{85-300 (211)}$	$\frac{34 \pm 3,4}{4-278 (211)}$
Ряпушка	–	–
Щука	$\frac{384 \pm 7,1}{255-540 (81)}$	$\frac{487 \pm 26,9}{110-1205 (81)}$
Окунь	–	$\frac{98 \pm 9,2}{6-385 (90)}$
2004–2008 гг.		
Сиг, малотычинковый	$\frac{160 \pm 1,8}{83-265 (421)}$	$\frac{49 \pm 1,8}{6-254 (421)}$
Сиг, среднетычинковый	$\frac{134 \pm 2,4}{75-293 (359)}$	$\frac{33 \pm 2,1}{2-340 (359)}$
Ряпушка	$\frac{110 \pm 1,6}{100-130 (38)}$	$\frac{11 \pm 0,5}{6-19 (38)}$
Щука	$\frac{326 \pm 18,3}{255-499 (13)}$	$\frac{373 \pm 71,5}{164-1079 (13)}$
Окунь	$\frac{186 \pm 4,2}{110-295 (129)}$	$\frac{122 \pm 10,7}{17-604 (129)}$
2012–2015 гг.		
Сиг, малотычинковый	$\frac{185 \pm 3,6}{77-407 (233)}$	$\frac{94 \pm 8,2}{4-981 (233)}$
Сиг, среднетычинковый	$\frac{160 \pm 2,58}{75-312 (416)}$	$\frac{58 \pm 3,0}{4-365 (416)}$
Ряпушка	$\frac{104 \pm 1,1}{87-141 (62)}$	$\frac{9 \pm 0,4}{5-24 (62)}$
Щука	$\frac{408 \pm 15,7}{260-547 (21)}$	$\frac{637 \pm 78,5}{150-1385 (21)}$
Окунь	$\frac{155 \pm 4,9}{45-290 (91)}$	$\frac{77 \pm 10,7}{1-792 (91)}$

Примечание. Здесь и в табл. 6: над чертой – среднее значение и его ошибка, под чертой – пределы варьирования показателя, в скобках – число рыб, экз.

отношении внутривидовых группировок сига в различные периоды исследования в оз. Куэтсьярви, возможно, что на данном этапе допустимо говорить и о единой полиморфной популяции сига, включающей несходные особи, скрещивание между которыми высоко вероятно, и о группе репродуктивно изолированных популяций [20]. В настоящее время довольно сложно судить, является ли антропогенное загрязнение Куэтсьярви причиной наблюдаемой внутривидовой изменчивости сига и их биологических характеристик в озере, или это результат естественного

процесса. Для понимания данного вопроса требуется дальнейший мониторинг сига озера, а также проведение генетических исследований рыб.

В целом медленнорастущие малотычинковые и среднетычинковые сига оз. Куэтсьярви созревают при наименьших для данного вида длине и массе (см. выше), что считается одной из форм адаптации сига к экстремальным условиям озера [14].

По данным уловов 2015 г., окунь в оз. Куэтсьярви одинаково заселяет как пелагическую (50%), так и профундальную (50%) экологические зоны водоема.

Табл. 6

Средние размерно-весовые характеристики выборок половозрелых рыб в оз. Куэтсьярви, 1990–2015 гг.

Вид	Длина (АС), мм	Масса, г
1990–1998 гг.		
Сиг, малотычинковый	$206 \pm 7,7$ 90–465 (42)	$175 \pm 22,2$ 4–1300 (42)
Сиг, среднетычинковый	$146 \pm 5,2$ 93–280 (36)	$46 \pm 5,9$ 5–261 (36)
Ряпушка	–	–
Щука	$427 \pm 15,6$ 310–540 (18)	$620 \pm 63,1$ 207–1205 (18)
Окунь	–	–
2004–2008 гг.		
Сиг, малотычинковый	$161 \pm 2,1$ 87–260 (228)	$48 \pm 2,2$ 6–210 (228)
Сиг, среднетычинковый	$133 \pm 3,1$ 87–293 (218)	$35 \pm 2,9$ 4–340 (218)
Ряпушка	$109 \pm 1,7$ 100–130 (34)	$11 \pm 0,5$ 6–19 (34)
Щука	499 (1)	890 (1)
Окунь	$252 \pm 5,2$ 128–295 (33)	$296 \pm 17,9$ 28–604 (33)
2012–2015 гг.		
Сиг, малотычинковый	$188 \pm 2,62$ 116–407 (89)	$95 \pm 13,33$ 14–843 (89)
Сиг, среднетычинковый	$160 \pm 5,0$ 80–312 (144)	$64 \pm 6,53$ 4–365 (144)
Ряпушка	$104 \pm 1,0$ 96–123 (37)	$9 \pm 0,5$ 6–19 (37)
Щука	$449 \pm 24,3$ 400–516 (4)	$788 \pm 158,5$ 471–1220 (4)
Окунь	$169 \pm 7,8$ 119–290 (28)	$87 \pm 17,2$ 23–440 (28)

У окуня здесь также наблюдается формирование двух экологических форм, различающихся темпами роста скорее внутри одной популяции. Ввиду изменений в соотношении экологических форм окуня по размерам в различные периоды исследования вероятен переход одной формы окуня в другую в течение онтогенеза [8]. Рост крайних максимальных значений веса окуня, возможно, связан с переходом на хищничество.

Заключение

Поверхностные воды занимают важнейшее место среди природных ресурсов Арктики. Их ресурсный потенциал определяется не только количественными показателями, но и качественными, включающими биологические показатели качества вод и структурно-функциональные показатели сообществ гидробионтов. Концепция использования биоиндикаторов и биомаркеров для оценки экологических рисков занимает особое место, поскольку они непосредственно отражают ответы биологических систем различного уровня на воздействия биодоступных форм химических соединений, присутствующих в окружающей среде, интегрируют эффекты многокомпонентных воздействий, их пространственную и временную динамику [14, 68]. В последнее время все больше внимания уделяется эволюционным аспектам («эволюционная экотоксикология»), учитывающим возможность локальной адаптации биологических систем к длительному воздействию стрессовых факторов среды [41, 42, 68, 72]. При этом большинство работ посвящено исследованиям функциональных ответов на организменном или суборганизменном уровнях (молекулярный, биохимический, клеточный, физиологический, поведенческий) на воздействие одного или нескольких загрязнителей. Значительно меньше исследованы ответы природных популяций и/или сообществ в целом на продолжительные техногенные воздействия, поскольку такие исследования требуют длительных наблюдений, а их результаты более сложны в интерпретации вследствие меньшей специфичности и большей «инерционности» этих показателей [14].

Долговременные комплексные исследования экосистемы оз. Куэтсьярви позволили выявить ответные реакции ее компонентов на глобальные и региональные изменения окружающей среды и климата в целом, результирующие в усилении токсификации вод и их эвтрофирования, сокращении численности стенобионтных видов на фоне возрастания численности эврибионтных и инвазивных видов. Проводимые в последние десятилетия комбинатом «Печенганикель» природоохранные мероприятия привели к снижению кислотной нагрузки на окружающую среду, однако нагрузка тяжелых металлов увеличилась. Увеличение содержания биогенных элементов в сочетании с выраженными тенденциями изменения климата [74]

усиливают процессы эвтрофирования. Современные сообщества оз. Куэтсьярви представляют собой результат воздействия комплекса факторов многолетних изменений абиотической среды и биотических взаимоотношений. Загрязнение оз. Куэтсьярви тяжелыми металлами, длящееся с 30-х годов прошлого века, привело к формированию сообщества, устойчивого к данному виду воздействия и поддерживающего высокую численность толерантных и адаптированных организмов. Выявленные тенденции свидетельствуют о радикальных перестройках структурно-функциональной организации экосистемы. Адаптации сообществ к динамике антропогенного воздействия, обуславливающей изменения условий существования организмов, выражаются в изменениях видового состава, количественных показателей, соотношения отдельных таксономических групп, структуры популяций.

В отличие от организменного уровня, ответные реакции на среднесрочные изменения окружающей среды популяций и сообществ более инерционны и менее специфичны. Эта же тенденция наблюдается и с повышением трофического уровня биологических систем. Установленные основные направления изменений структуры рыбной части сообщества оз. Куэтсьярви схожи с изменениями, наблюдаемыми в крупных водоемах Арктической зоны РФ в изменяющихся условиях окружающей среды (изменения климата и гидрологического режима, эвтрофикация, загрязнение), проявляющиеся в снижении роли длинноциклового стенобионтного осенненерестующих лососевых и сиговых видов рыб и в увеличении численности эврибионтных весенненерестующих видов с малой промысловой ценностью. Но темпы этих структурных изменений значительно ниже, чем в планктонных сообществах. Несмотря на специфические природные условия и антропогенное загрязнение озера, формирование симпатрических форм, различающихся экологическими нишами, морфологией, стратегиями жизненного цикла, включая переход на короткоцикловую стратегию выживания, позволяет сигу оставаться доминирующим видом и поддерживать высокую численность популяции.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 0226-2019-0045 и частично поддержана из средств гранта РФФИ 18-05-60125 Арктика и РНФ № 19-77-10007. Интерпретация результатов по гидрологическим показателям выполнена из средств темы НИР № 0226-2019-0045; интерпретация результатов по гидрохимическим показателям и донным отложениям выполнена из средств гранта РНФ № 19-77-10007; интерпретация результатов по гидробиологическим и ихтиологическим показателям – из средств гранта РФФИ 18-05-60125 Арктика.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Балущкина ЕВ, Винберг ГГ. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных. Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Наука; 1979.
2. Барина СС, Медведева ЛА, Анисимова ОВ. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio; 2006.
3. Гончарова ТО, Иванова АЛ, Каплин ВТ, Борисова АШ, Норина АМ, Титкова ЕН, Сорокина ЕФ. Характеристика загрязнения некоторых водных объектов Мурманской области стоками рудообогатительных комбинатов. Гидрохим матер. 1973;(2):120-38.
4. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. В кн.: Контроль качества воды: Сборник ГОСТов. М.: Стандартинформ; 2010.
5. Даувальтер ВА. Химический состав донных отложений субарктического озера под влиянием горной металлургии. Известия АН Сер Географ. 2002;(4):65-73.
6. Даувальтер ВА. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во Мурманского государственного технического университета; 2012.
7. Даувальтер ВА, Кашулин НА. Оценка экологического состояния Арктической пресноводной системы по результатам исследований содержания тяжелых металлов в донных отложениях. Геохимия. 2018;(8):805-19.
8. Дгебуадзе ЮЮ. Экологические закономерности изменчивости роста рыб. М.: Наука; 2001.
9. Денисов ДБ. Экологические особенности водорослевых сообществ разнотипных субарктических водоемов. Вестник Кольского научного центра РАН. 2010;(1):48-55.
10. Денисов ДБ, Кашулин НА. Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра). Труды КНЦ РАН: Прикладная экология Севера. 2013;3(16):70-96.
11. Зубова ЕМ. Линейный рост европейского сига *Coregonus lavaretus* (L.) в антропогенно-модифицированных водоемах европейской субарктики (на примере Мурманской области). Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Пермь: ПГНИУ; 2015.
12. Зубова ЕМ, Кашулин НА, Терентьев ПМ. Биотическая симпатрия сига *Coregonus lavaretus* (L.) оз. Куэтсъярви (система р. Пасвик, Мурманская область). Принципы экологии. 2019;(2):3-20.
13. Кашулин НА. Рыбы малых озер Северной Феноскандии в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН; 2004.
14. Кашулин НА, Лукин АА, Амундсен ПА. Рыбы пресноводных вод Субарктики как биоиндикаторы техногенного загрязнения. Апатиты: КНЦ РАН; 1999.
15. Кашулин НА, Даувальтер ВА, Кашулина ТГ, Сандимиров СС, Раткин НЕ, Кудрявцева ЛП, Королева ИМ, Вандыш ОИ, Мокротоварова ОИ. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Ч. 1: Ковдорский район. Апатиты: КНЦ РАН; 2005.
16. Кашулин НА, Даувальтер ВА, Сандимиров СС, Раткин НЕ, Терентьев ПМ, Королева ИМ, Вандыш ОИ, Кудрявцева ЛП. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Ч. 2: Озерно-речная система реки Чуна в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты. КНЦ РАН; 2007.
17. Кашулин НА, Сандимиров СС, Даувальтер ВА, Терентьев ПМ, Денисов ДБ. Экологический каталог озер Мурманской области. Северо-западная часть Мурманской области и приграничной территории сопредельных стран. Ч. II. Апатиты: КНЦ РАН; 2009.
18. Китаев СП. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука; 1984.
19. Лукин АА, Кашулин НА. Состояние ихтиофауны водоемов в приграничной зоне СССР и Норвегии. Апатиты: КНЦ РАН; 1991.
20. Мина МВ. Микроэволюция рыб: эволюционные аспекты фенетического разнообразия. М.: Наука; 1986.
21. Минеева НМ. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука; 2004.
22. Моисеенко ТИ, Родюшкин ИВ, Даувальтер ВА, Кудрявцева ЛП. Формирование качества вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водоемы арктического бассейна (на примере Кольского Севера). Апатиты: КНЦ РАН; 1996.
23. Моисеенко ТИ. Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: КНЦ РАН; 1997.
24. Моисеенко ТИ, Даувальтер ВА, Лукин АА, Кудрявцева ЛП, Ильяшук БП, Ильяшук ЕА, Сандимиров СС, Каган ЛЯ, Вандыш ОИ, Шаров АН, Шарова ЮН, Королева ИМ. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука; 2002.

25. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. (Ред. Алексеева ВР, Цалолихина СЯ). М.; КМК; 2016.
 26. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос. (Ред. Алексеева ВР, Цалолихина СЯ). М.; КМК; 2016.
 27. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 4. Двукрылые насекомые. (Ред. Цалолихин СЯ). СПб.: Наука; 2000.
 28. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5. Высшие насекомые. (Ред. Цалолихин СЯ). СПб.: Наука; 2001.
 29. Решетников ЮС. Экология и систематика сиговых рыб. М.: Наука; 1980.
 30. Решетников ЮС, Богданов ВД. Особенности воспроизводства сиговых рыб. *Вопр ихтиол.* 2011;51(4):502-25.
 31. Родюшкин ИВ. Основные закономерности распределения металлов в поверхностных водах Кольского Севера. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. СПб.: Институт озерадения РАН; 1995.
 32. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. (Ред. Абакумов ВА). СПб.: Гидрометеоздат; 1992.
 33. Сидоров ГП, Решетников ЮС. Лососеобразные рыбы водоемов европейского северо-востока. М.: КМК; 2014.
 34. Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды. Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука; 1967.
 35. Шаров АН. Структура фитопланктона водоемов Крайнего Севера в условиях техногенного загрязнения. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Апатиты: КНЦ РАН; 2000.
 36. Шаров АН. Фитопланктон водоемов Кольского полуострова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 2004.
 37. Яковлев ВА, Нест Т, Лангеланд А. Состояние фауны водных беспозвоночных организмов в приграничных районах СССР и Норвегии. Апатиты: Изд-во Академии наук СССР; 1991.
- Общий список литературы/Reference List**
1. Balushkina YeV, Vinberg GG. Zavisimost' Mezhdudlinoy i Massoy Tela Planktonnykh Rakoobraznykh. Eksperimentalnye i Polevye Issledovaniya Biologicheskoy Produktivnosti Ozer. [The relationship between the length and body weight of planktonic crustaceans. Experimental and field studies of the biological foundations of lake productivity]. Leningrad: Nauka; 1979. (In Russ.)
 2. Barinova SS, Medvedeva LA, Anisimova OV. Bioraznoobrazniye Vodorosley-Indikatorotov Okruzhayushey Sredy. [Biodiversity of Environmental Indicator Algae]. Tel Aviv: Pilies Studio, 2006. (In Russ.)
 3. Goncharova TO, Ivanova AL, Kaplin VT, Borisova AS, Norina AM, Titova YeN, Sorokina EF. [Characterization of pollution of some water bodies in the Murmansk region by the effluents of ore processing plants]. *Gidrokhimicheskiye Materialy* 1973;(2):120-38. (In Russ.)
 4. Anonimous. [State Standard 17.1.3.07-82. Protection of the Environment. Hydrosphere. The rules control of water quality of water bodies]. In: *Kontrol' Kachestva Vody Sbornik GOSTov*. Moscow: Standartinform; 2010.
 5. Dauvalter VA. [The chemical composition of bottom sediments of the subarctic lake under the influence of mining metallurgy]. *Izvestiya AN Ser Geogr.* 2002;(4):65-73. (In Russ.)
 6. Dauvalter VA. *Geoekologiya Donnykh Otlozheniy Ozer*. [Geoecology of Lake Sediments]. Murmansk: MGTU; 2012.
 7. Dauvalter VA, Kashulin ON. [Assessment of the ecological state of the Arctic freshwater system based on studies of heavy metals in bottom sediments]. *Geochem Int.* 2018;56(8):842–856.8. Dgebuadze YuYu. *Ekologichaskiye Zakonomernosti Izmenchivosti Rosta Ryb*. [Ecological Patterns of Fish Growth Variability]. Moscow: Nauka; 2001.
 9. Denisov DB. [Ecological features of algae communities in polytypic subarctic water objects]. *Vestnik Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN*, 2010;(1):48-55. (In Russ.)
 10. Denisov DB, Kashulin NA. [Phytoplankton communities under Kola Nuclear Power Plant impact (Imandra Lake)]. *Trudy Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN Priknadnaya Ekologiya Severa*. 2013;3(16):70-96. (In Russ.)
 11. Zubova YeM. *Lineynyi Rost Yevropeyskogo Siga Coregonus lavaretus (L.) v Antropogенно-Modifitsirovannykh Vodoyomakh Yevropeyskoy Subarktiki (na Primere Musmanskoy Oblasti)*. [Linear Growth of European Whitefish *Coregonus lavaretus (L.)* in Anthropogenically Modified Reservoirs of the European Subarctic (Case Study of the Murmansk Region)]. Candidate of Science Theses. Perm, 2015.
 12. Zubova YeM, Kashulin NA, Terentyev PM. [Biotic sympatry of whitefish *Coregonus lavaretus (L.)* in Kuetsjarvi lake (Pasvik river system, Murmansk region)]. *Printsypy Ekologii*, 2019;(2):3-20. (In Russ.)

13. Kashulin NA. Ryby Malykh Ozer Severnoy Fenoscandii v Usloviyakh Aerotekhnogenogo Zagriazneniya. [Fishes of Small Lakes of Northern Fenoscandia under Conditions of Aerotechnogenic Pollution]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 2004. (In Russ.)
14. Kashulin NA, Lukin AA, Amundsen P-A. Ryby Presnovodnykh Vod Subarktiki Kak Bioindikatory Tekhnogenogo Zagriazneniya. [Subarctic Freshwater Fishes as Bioindicators of Technogenic Pollution]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 1999. (In Russ.)
15. Kashulin NA, Dauvalter VA, Kashulina TG, Sandimirov SS, Ratkin NE, Kudryavtseva LP, Koroleva IM, Vandysh OI, Mokrotovarova OI. Antropogennye Izmeneniya Loticheskikh Ekosistem Murmanskoy Oblasti Ch. 1: Rovdorskiy Rayon. [Anthropogenic Changes of Lothic Ecosystems in Murmansk Region. Vol. 1: Kovdor Area]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 2005. (In Russ.)
16. Kashulin NA, Dauvalter VA, Sandimirov SS, Ratkin NE, Terentev PM, Koroleva IM, Vandysh OI, Kudryavtseva LP. Antropogennye Izmeneniya Loticheskikh Ekosistem Murmanskoy Oblasti Ch. 2: Ozerno-Rechnaya Sistema Reki Chuni v Usloviyakh Aerotekhnogenogo Zagriazneniya. [Anthropogenic Changes of Lothic Ecosystems in Murmansk Region. Vol. 2: Chuna Lake-River System Under Air-Born Anthropogenic Pollutant Load]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 2007. (In Russ.)
17. Kashulin NA, Sandimirov SS, Dauvalter VA, Terentyev PM, Denisov DB. Ekologicheskiy Katalog Ozer Murmanskoy Oblasti. Severo-Zapadnaya Chast Murmanskoy Oblasti i Prigranichnoy Territorii Sopredelnykh Stran. Ch. II. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 2009. (In Russ.)
18. Kitayev SP. Ekologicheskiye Osnovy Bioproduktivnosti Ozer Raznykh Prirodnykh Zon. [Ecological Basis of Bioproductivity of Lakes of Different Natural Zones]. Moscow: Nauka; 1984. (In Russ.)
19. Lukin AA, Kashulin NA. Sostoyaniye Ikhtiofauny Vodoyomov v Prigranichnoy Zone SSSR i Norvegii. [Status of Ichthyofauna of Water Bodies in the Border Zone of the USSR and Norway]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 2001. (In Russ.)
20. Mina MV. Mikroevoliutsiya Ryb: Evoliutsionnyye Aspekty Feneticheskogo Raznoobraziya. [Fish Microevolution: The Evolutionary Aspects of Phenetic Diversity]. Moscow: Nauka; 1986.
21. Mineyeva NM. Fotopigmenty v Vode Volzhskikh Vodokhranilisch. [Photopigments in Water of Volga Reservoirs]. Moscow: Nauka; 2004. (In Russ.)
22. Moiseenko TI, Rodiushkin IV, Dauvalter VA, Kudryavtseva LP. Formirovaniye Kachestva Vod i Donnykh Otlozheniy v Usloviyakh Antropogennykh Nagruzok na Vodoyemy Arkticheskogo Basseyna (na Primere Kolskogo Severa). Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 1996. (In Russ.)
23. Moiseenko TI. Teoreticheskiye Osnovy Normirovaniya Antropogennykh Nagruzok na Vodoyomy Subarktiki. [Theoretical Basis for Norming of Anthropogenic Loads on Water Bodies of the Subarctic]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 1997. (In Russ.)
24. Moiseenko TI, Dauvalter VA, Lukin AA, Kudryavtseva LP, Ilyashuk BP, Ilyashuk EA, Sandimirov SS, Kagan LA, Vandysh OI, Sharov AN, Sharova UN, Koroleva IM. Antropogennye Modifikatsii Ekosistemy Ozera Imandra. Moscow: Nauka; 2002. (In Russ.)
25. Opredelitel Zooplanktona i Zoobentosa Presnykh Vod Yevropeyskoy Rossii. T. 1. Zooplankton. [Key to Zooplankton and Zoobenthos of Fresh Waters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton]. Ed. By Alekseyev VR, Tsalolikhin SYa. Moscow: KMK; 2016. (In Russ.)
26. Opredelitel Zooplanktona i Zoobentosa Presnykh Vod Yevropeyskoy Rossii. T. 2. Zoobentos. [Key to Zooplankton and Zoobenthos of Fresh Waters of European Russia. Vol. 2. Zoobenthos]. Ed. by Alekseyev VR, Tsalolikhin SYa. Moscow: KMK; 2016. (In Russ.)
27. Opredelitel Presnovodnykh Bespozvonochnykh Rossii i Sopredelnykh Territoriy. T. 4. Dvukrylye Nasekomye. [Key to Freshwater Invertebrates of Russia and Adjacent Territories. Vol. 4. Diptera Insects]. Ed. by Tsalolikhin SYa. Saint Petersburg: Nauka; 2000. (In Russ.)
28. Opredelitel Presnovodnykh Bespozvonochnykh Rossii i Sopredelnykh Territoriy. T. 5. Vysshiye Nasekomye. [Key to Freshwater Invertebrates in Russia and Adjacent Territories. V. 5. Higher Insects]. Ed. by Tsalolikhin SYa. Saint Petersburg: Nauka; 2001. (In Russ.)
29. Reshetnikov YuS. Ekologiya i Sistematika Sigovykh Ryb. [Ecology and Systematics of Whitefishes]. Moscow: 1980. (In Russ.)
30. Reshetnikov YuS, Bogdanov VD. [Features of reproduction of whitefishes]. Ikhtiologiya. 2011;51(4):502-25. (In Russ.)
31. Rodiushkin IV. Osnovnye Zakonomernosti Raspredeleeniya Metallov v Poverkhnostnykh Vodakh Kolskogo Severa. [The Main Laws of the Distribution of Metals in the Surface Waters of Kola North] (dissertation). Saint Petersburg; 1995. (In Russ.)

32. Rukovodstvo po Metodam Gidrobiologicheskogo Analiza Poverkhnostnykh Vod i Donnykh Otlozheniy. [Guidelines on Methods of Hydrobiological Analysis of Surface Water and Bottom Sediments]. Ed. By Abakumov VA. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat; 1992. (In Russ.)
33. Sidorov GP, Reshetnikov YuS. Lososeobraznye Ryby Vodoyomov Yevropeyskogo Severo-Vostoka. [Salmon Fishes of the European Northeast]. Moscow: KMK; 2014. (In Russ.)
34. Sladechek V. Obschaya Biologicheskaya Skhema Kachestva Vody. Sanitarnaya i Tekhnicheskaya Gidrobiologiya. [General Biological Scheme of Water Quality. Sanitary and Technical Hydrobiology]. Moscow: Nauka; 1967. (In Russ.)
35. Sharov AN. Struktura Fitoplanktona Vodoyomov Kraynego Severa v Usloviyakh Tekhnogenogo Zagriazneniya. [The Structure of Phytoplankton in the Reservoirs of the Far North Under Conditions of Technogenic Pollution (dissertation)]. Apatity: Izdatelstvo Kolskogo Nauchnogo Tsentra RAN; 2000. (In Russ.)
36. Sharov AN. Fitoplankton Vodoyomov Kolskogo Poluostrova. [Phytoplankton of Kola Peninsula]. Petrozavodsk: Karelskiy Nauchnyi Tseentr RAN; 2004. (In Russ.)
37. Yakovlev VA, Nyost T, Langeland A. Sostoyaniye Fauny Vodnykh Bespozvonochnykh Organizmov v Prigranichnykh Rayonakh SSSR i Norbegii. [The State of Aquatic Invertebrates Fauna in the Border Regions of the USSR and Norway]. Apatity: Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR; 1991. (In Russ.)
38. Amundsen PA, Staldivik F, Lukin A, Kashulin N, Reshetnikov YuS, Popova O. Ecology and Heavy Metal Contaminations in the Fish Communities of the Pasvik River System. Tromsø: University of Norway; 1993.
39. Amundsen PA, Staldivik FJ, Lukin AA, Kashulin NA, Popova OA, Reshetnikov YuS. Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia. *Sci Tot Environ.* 1997;201(3):211-24.
40. Amundsen PA, Staldivik FJ, Reshetnikov YuS, Kashulin NA, Lukin AA, Bøhn. T, Sandlund OT and Popova OA. Invasion of vendace (*Coregonus albula*) in a subarctic watercourse. *Biol Conserv.* 1999;88:405-13.
41. Bickham JW. The four cornerstones of evolutionary toxicology. *Ecotoxicology*, 2011;20(3):497-502.
42. Coutellec MA, Barata C. An introduction to evolutionary processes in ecotoxicology. *Ecotoxicology*, 2011;20(3):493-6.
43. Dauvalter V. Concentrations of heavy metals in superficial lake sediments of Pechenga district, Murmansk region, Russia. *Vatten.* 1992;48(2):141-5.
44. Dauvalter V. Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia. *Sci Tot Environ.* 1994;158:51-61.
45. Dauvalter V. Heavy metal concentrations in lake sediments as an index of freshwater ecosystem pollution. In: *Disturbance and Recovery in Arctic Lands: An Ecological Perspective.* Ed. by Crawford RMM. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1997. P. 333-51.
46. Dauvalter V. Impact of mining and refining on the distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic lake Kuetsjärvi, Murmansk region, Russia. *J Environ Monit.* 2003;5(2):210-5.
47. Dauvalter V, Kashulin N, Sandimirov S, Terentjev P, Denisov D, Amundsen P-A. Chemical composition of lake sediments along a pollution gradient in a Subarctic watercourse. *J Environ Sci Health Part A.* 2011;46(9):1020-33.
48. Dauvalter V, Rognerud S. Heavy metals pollution in sediment of the Pasvik River drainage. *Chemosphere.* 2001;42(1):9-18.
49. Determination of Photosynthetic Pigments in Sea Water: Monograph Rep SCOP-UNESCO Working Group 17. Paris, UNESCO, 1966. P. 9-18.
50. Gregurek D, Melcher F, Pavlov VA, Reimann C, Stumpf EF. Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia. *Miner Petrol* 1999;65:87-111.
51. Guiry MD, Guiry GM. *AlgaeBase.* World-Wide Electronic Publication. National University of Ireland. Galway, 2019. URL: <http://www.algaebase.org>.
52. Harrod C, Mallela L, Kahilainen K. Phenotype-environment correlations in a putative whitefish adaptive radiation. *J Animal Ecol*, 2010;79:1057-68.
53. Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control – a sedimentological approach. *Water Res.* 1980;14:975-1001.
54. Intercomparison–2016. 1630: pH, Conductivity, Alkalinity, NO₃-N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, TOC, Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, Ni and Zn. ICP Waters report 129/2016. Oslo: Norwegian Institute for Water Research, Report No. 7081; 2016.
55. Kashulin NA, Ratkin NE, Dauvalter VA, Lukin AA. Impact of airborne pollution on the drainage area of subarctic. *Chemosphere*, 2001;42:51-9.
56. Kashulin NA, Dauvalter VA, Denisov DB, Valkova SA, Vandysh OI, Terentjev PM, Kashulin AN. Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk Region, Russia. *J Environ Sci Health Part A.* 2017;52(9):921-9.
57. Kahilainen K, Østbye K. Morphological differentiation and resource polymorphism in three sympatric whitefish *Coregonus lavaretus* (L.) forms in a subarctic lake. *J. Fish Biol*, 2006;68:63-79.

58. Kahilainen K, Malinen T, Tuomaala A, Lehtonen H. Diel and seasonal habitat and food segregation of three sympatric *Coregonus lavaretus* forms in a subarctic lake. *J Fish Biol.* 2004;64:418-34.
59. Kahilainen K, Malinen T, Tuomaala A, Alajaervi E, Tolonen A, Lehtonen H. Empirical evaluation of phenotype–environment correlation and trait utility with allopatric and sympatric whitefish, *Coregonus lavaretus* (L.), populations in subarctic lakes. *Biol J Linn Soc.* 2007;92(3):561-72.
60. Kahilainen K, Malinen T, Lentonen H. Polar light regime and piscivory govern diel vertical migrations of planktivorous fish and zooplankton in a subarctic lake. *Ecol Freshwater Fish.* 2009;18:481-90.
61. Kahilainen K, Patterson W, Sonninen E, Harrod C, Kiljunen M. Adaptive radiation along a thermal gradient: Preliminary results of habitat use and respiration rate divergence among whitefish morphs. *PLoS One.* 2014; DOI: 10.1371/journal.pone.0112085.
62. Lukin AA, Dauvalter VA, Kashulin NA, Yakovlev VA, Sharov AN, Vandysh OI. Assessment of copper-nickel industry impact on a subarctic lake ecosystem. *Sci Tot Environ.* 2003;306:73-83.
63. Merritt RW, Cummins KW. *An Introduction the Aquatic Insects of North America.* Second Edition; 1984.
64. Moiseenko T, Mjeled M, Branchurd T, Brettum P, Dauvalter V, Kagan L, Kashulin N, Kudriavtseva L, Lukin A, Sandimirov S, Traaen TS, Vandysh O, Yakovlev V. Pasvik River Watercourse, Barents region: Pollution Impacts and Ecological Responses Investigation in 1993. Institute of North Industrial Ecology Problems (Russia), Norwegian Institute for Water Research (Norway). NIVA-report OR-3118; 1994.
65. Nøst T, Kashulin N, Schartau AKL, Lukin A, Berger HM, Sharov A. Impacts of pollution on freshwater communities in the border region between Russia and Norway. III. Monitoring lakes 1990-96. NINA Fagrapport, 1997;29:1-37.
66. Ruttner-Kolisko A. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. *Arch Hydrobiol Ergebn Limnol.* 1977:71-8.
67. Pantle R, Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserbach.* 1955;96(18):604.
68. Pauwels M, Frérot H, Souleman D, Vandenbulcke F. Using biomarkers in an evolutionary context: lessons from the analysis of biological responses of oligochaete annelids to metal exposure. *Environ Pollut/* 2013;179:343-50.
69. Præbel K, Knudsen R, Siwertsson A, Karhunen M, Kahilainen K, Ovaskainen O, Østbye K, Peruzzi S, Fevolden SE and Amundsen PA. Ecological speciation in postglacial European whitefish: rapid adaptive radiations into the littoral, pelagic, and profundal lake habitats. *Ecol Evolut Res.* 2013;3(15):4970-86.
70. Siwertsson A, Knudsen R, Amundsen PA. Temporal stability in gill raker numbers of subarctic European whitefish populations. *Adv Limnol.* 2008;63:229-40.
71. Siwertsson A, Knudsen R, Kahilainen K, Præbel K, Primicerio R, Amundsen PA. Sympatric diversification as influenced by ecological opportunity and historical contingency in a young species lineage of whitefish. *Evol Ecol Res.* 2010;12:929-47.
72. Shugart LR, Theodorakis CW, Bickham JW. *Evolutionary toxicology.* In: *Molecular Approaches in Natural Resource Conservation and Management.* New York: Cambridge University Press; 2010. P. 320-36.
73. *Standard Method for Examination of Water and Wastewater,* 20th Edition. Ed. by Clescerl LS, Greenberg AE, Eaton AD. American Public Health Association; 1999.
74. Ylikörkkö J, Christensen GN, Kashulin N, Denisov D, Andersen HJ, Jelkänen E. *Environmental Challenges in the Joint Border Area.* Reports 41. Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Lapland. Juvenes Print, 2015.
75. Østbye K, Naesje TF, Bernatchez L, Himberg M, Hindar K. Morphological divergence and origin of sympatric populations of European whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) in Lake Femud, Norway. *J Evol Biol.* 2005;18:683-2.

МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ЧАСТОТА АУТОИММУННОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ СРЕДИ ДЕТЕЙ РОССИИ

Л.А. Сопрун^{1*}, И.М. Акулин¹, А.Н. Гвоздецкий¹,
Ю.И. Строев¹, В.И. Утехин¹, Л.П. Чурилов^{1, 2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

и ²Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

* Эл. почта: lidas7@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 31.11.2019; принята к печати 20.12.2019

В работе представлены данные о связи между региональной заболеваемостью российских детей аутоиммунной патологией щитовидной железы и содержанием в их волосах некоторых микроэлементов, обладающих адъювантным действием на иммунную систему. Изучены показатели по всем федеральным округам за 2008–2017 гг. Найдены положительные корреляции между региональной заболеваемостью тиротоксикозом и содержанием йода и ртути, но не алюминия в волосах детей. Предложена регрессионная модель таких взаимосвязей. Неблагоприятно сказываться на аутоиммунитете может увеличение экспозиции не только токсичным, но и эссенциальным микроэлементам сверх потребности. Полученные данные обсуждены в сопоставлении с мировой литературой по данной теме и в контексте предсказания и профилактики риска аутоиммунных тиропатий в педиатрии, в частности, относительно оптимального выбора вакцин. Затронуты вопросы перmissive действия различных факторов мозаичности аутоиммунитета на результирующие изменения реактивности. Отмечено, что в законопроекте о сплошном обязательном йодировании поваренной соли в Российской Федерации не учтены региональные различия в обеспеченности микроэлементами.

Ключевые слова: микроэлементы, ртуть, йод, алюминий, адъювант, аутоиммунитет, болезнь фон Базедова-Грейвса, тиротоксикоз (тиреотоксикоз), волосы.

MICROELEMENTS AND REGIONAL INCIDENCE OF AUTOIMMUNE THYROID DISEASE IN CHILDREN IN RUSSIA

L.A. Soprun^{1*}, I.M. Akulin¹, A.N. Gvozdetskiy¹, V.J. Utekhin¹, Yu.I. Stroyev¹, L.P. Churilov^{1, 2}

¹Saint-Petersburg State University and ²Saint-Petersburg Research Institute of Phthiopolunology,

Saint-Petersburg, Russia

* E-mail: lidas7@yandex.ru

The paper presents data on relationships between the regional incidence of the autoimmune pathology of the thyroid gland among children in Russia and the contents of some microelements in their hair, namely those known to have an adjuvant effect on the immune system. The results relate to all Federal Districts of Russia in 2008–2017. A regression model of these relationships is proposed. It has been shown that the region-specific contents of iodine and mercury but not aluminium in the hair of children positively correlate with the regional incidence of Graves' disease. Thus, an increase in the exposure to an essential microelement in excess of need, as well as an increase in the exposure of toxic trace elements, can adversely affect autoimmunity. The data are discussed in comparison with literature on this topic and in the context of predicting and preventing the risk of autoimmune thyroid disease in pediatrics, especially with regard to the optimal choice of vaccines. The issues related to the permissive effect of the various factors that form the mosaic of autoimmunity, on the resulting changes in reactivity are addressed. The bill for obligatory iodization of cooking salt in the Russian Federation is criticized because it does not take into account regional differences in the availability of trace elements.

Keywords: microelements, mercury, iodine, aluminum, adjuvant, autoimmunity, von Basedow-Graves' disease, thyrotoxicosis, hair.

Введение

Основатель современной биогехимии, выпускник и профессор Императорского Санкт-Петербургского университета В.И. Вернадский (1863–1945) подчерки-

вал единство элементного состава живых существ и неживой среды, сочетанный характер их эволюции. Он ввел представления о биогенной миграции атомов – переходе элементов из организма в организм, из

геологических объектов – в живое вещество и обратно и подчеркивал ключевую роль этого процесса в распространении различных элементов по планете в силу действия биогеоценологических связей, объединяющих живых участников экологического сообщества и его минеральную основу [32]. Развивая положения биогеохимии, его ученик, выпускник Военно-медицинской академии и Петроградского университета А.П. Виноградов (1895–1975) разработал учение о биогеохимических провинциях и влиянии локальных особенностей минерального состава почвы, воды и продуктов питания на здоровье человека [2]. В настоящее время эти положения приняты во всем мире и особенно актуальны в медицинской географии, геоэпидемиологии и патофизиологии. Еще в своих классических трудах о биосфере В.И. Вернадский предсказывал грядущее превалирование антропогенных факторов в формировании распределения элементов по планете [3, 30]. Антропогенные воздействия изменяют пути и интенсивность биогенной миграции различных элементов и таким образом влияют на здоровье людей и распространенность болезней.

Понятие «микроэлементы» (англ. «trace elements» – элементы, присутствующие в следовых количествах) до известной степени условно. К микроэлементам относят элементные составляющие организма, содержание каждой из которых не превышает 1 мкг на грамм веса живой ткани. Их суммарное содержание в теле человека весом 70 кг составляет лишь менее 4 г [23]. Так как натуральная еда содержит, как правило, достаточные и сбалансированные самой природой количества микроэлементов, в течение многих лет медицина сталкивалась только с эндемическими проявлениями их дефицита и дисбаланса там, где в почве, воде и местных продуктах питания не хватало какого-либо из них, либо в районах сильного природного избытка того или иного микроэлемента.

Микроэлементы важны для медицины, поскольку их дефицит, дисбаланс или избыток и прямая токсичность служат фактором ряда заболеваний. Последний аспект – токсичность избытка микроэлементов – относится не только к 5 неметаллам и 10 металлам, признанным жизненно важными незаменимыми факторами питания, но и к широкому кругу других микроэлементов, из числа тех шестидесяти с небольшим, которые вообще обнаружены в организме человека [7]. Микроэлементы попадают в организм человека с пищей, водой, при вдыхании аэрополлютантов, а также ятрогенно – через лекарства и другие медицинские препараты, например, косметические средства и вакцины. В современных условиях большое значение в создании риска избыточного поступления микроэлементов в организм имеют факторы, связанные с урбанизацией, а также профессиональные вредности. Упомянем в этой связи автомобильно-дорожный комплекс, стационарные

источники загрязнений, такие как предприятия черной и цветной металлургии, машиностроения, производства строительных материалов, переработки и перегрузки мусора, а также работы по сносу зданий, метростроительные работы и т. п. – все это источники поступления взвешенных частиц, содержащих различные микроэлементы, в атмосферный воздух, почву и воду.

В работах последнего времени получены доказательства того, что состояние здоровья человека тесно связано с его индивидуальным «микроэлементным портретом» [8–10]. Обнаружены разнонаправленные связи между содержанием тех или иных микроэлементов в волосах людей, постоянно проживающих в разных регионах, и региональной частотой возникновения ряда болезней [5].

Показано, что факторы окружающей среды играют важную роль в развитии аутоиммунной патологии вообще и аутоиммунного поражения щитовидной железы в частности [26]. Однако роль отдельных микроэлементов в формировании аутоиммунопатий изучена недостаточно. Наиболее неблагоприятное влияние на уровень популяционного здоровья населения, особенно среди детей, оказывает сочетание низко комфортных условий жизни с дисбалансом химических эссенциальных элементов в организме [12, 31]. Интенсивное развитие промышленного производства сопровождается насыщением биосферы химическими элементами, встречающимися в доиндустриальную эпоху лишь в следовых количествах. Вокруг предприятий (особенно металлургического профиля) формируются техногенные аномалии с повышением содержания в биосфере таких токсических элементов, как Hg, Pb, As, Ni, Cr, Cd, Al и др. Такие аномалии можно определить как антропо-биогеохимические провинции (подзоны), в пределах которых наблюдаются ответные реакции организмов, проявляющиеся в виде заболеваний [8, 24, 25, 33].

Состояние проблемы и цель работы

Мы сосредоточили внимание на изучении связи между содержанием в волосах *алюминия, йода и ртути* и региональной заболеваемостью аутоиммунным заболеванием щитовидной железы, известным как болезнь фон Базедова-Грейвса (диффузный токсический зоб или тиротоксикоз). Выбор микроэлементов был обусловлен следующими соображениями.

Алюминий (Al, от лат. alumen, квасцы) изобилует в земной коре, являясь там одним из самых распространенных элементов – первым среди металлов. Но живые клетки избегают алюминия, в здоровом теле его – лишь следы. Чистый алюминий был неизвестен до 1825 г. и затем крайне дорог вплоть до развития электроэнергетики. После изобретения в 1886 г. электролитического способа получения алюминия он поде-

шевел и стал применяться все шире. Медики долго не обращали внимания на этот металл, так как изделия из него покрыты слоем оксида алюминия, который считается относительно инертным. Алюминий в быту – это не только посуда, кухонные принадлежности, мебель, фольга, электроника, провода и строительные конструкции. Он присутствует в бенгальских огнях, в лекарствах, понижающих кислотность желудочного сока, которые принимают без рецепта длительное время (альмагель, маалокс и др.). Алюминиевые квасцы из-за их противовоспалительного, антиперспирантного действия и иммуностимулирующего эффекта входят в состав многих косметических средств (дезодоранты, антиперспиранты, лосьоны и кремы после бритья, тушь для ресниц и помада). Они добавлялись даже в кулинарные порошки. Широко применяемые и всасывающиеся в кишечнике пищевые добавки E 520–523 содержат сульфат алюминия, а E 541, 554–556, 559 – его фосфат. Есть алюминий в зубных пломбировочных материалах и в некоторых вакцинах (например, в вакцине от папилломавирусов, применяемой для профилактики рака шейки матки). Его уже около 100 лет добавляют в вакцины для усиления их эффективности, поскольку соединения алюминия способствуют самосборке и функционированию инфламмасом и выработке провоспалительных цитокинов. Для абсолютно здорового человека, не predisposed к аутоиммунным и почечным болезням, это относительно безопасно, при условии, что в сутки в организм проникает не более 1 мг металла на 1 кг массы тела. Но при хронической почечной недостаточности, в том числе при диабетической нефропатии, минимальные количества алюминия, попадающие в организм как при гемодиализе и употреблении желудочных антацидов, вакцин, так и иными путями, накапливаются и мешают правильному обмену других микроэлементов. Алюминий легко абсорбируется в желудочно-кишечном тракте и аккумулируется в мозге, костях и эритроцитах. Если почки не успевают его выводить, это постепенно ведет к инвалидизирующим расстройствам, включая неврологические нарушения (апатию, потерю памяти, деменцию, дезориентировку в пространстве, мышечные подергивания и судороги), может быть поражение опорно-двигательного аппарата (остеомалация, не поддающаяся лечению кальцием и витамином D; патологические переломы, боли в мышцах и мышечная слабость), а также анемия. Алюмосодержащие усилители иммунного ответа – *адьюванты* – рассматриваются сейчас как возможные провокаторы аутоиммунных реакций в организме predisposed индивидов. Поэтому при диабетическом и других поражениях почек и при наличии любых аутоиммунных заболеваний и семейной predisposedности к ним, к контактам с алюминием, особенно к алюмосодержащим лекарствам,

вакцинам и косметике, даже к контакту алюминия и пищи, не говоря уже о пищевых добавках с алюминием, следует отнестись с осторожностью. Тем не менее, вопрос о связи алюминия и патологии щитовидной железы спорный и малоизученный [21, 24].

Ртуть (Hg, от лат. *Hydrargyrum*, буквально – водное (живое) серебро) – элемент шестого периода периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева с атомным номером 80, относящийся к подгруппе цинка, 12-й группе. Ртуть, будучи гаптенем, способна при контакте с белками покровов тела сформировать неоантигены и обусловить развитие клеточно-опосредованных иммуноповреждений, например, контактного дерматита (в англоязычной литературе – контактная экзема), у лиц, predisposedных к гиперчувствительности. Ртуть обладает адьювантными свойствами, способствует продукции провоспалительных цитокинов и имеется в составе некоторых вакцин. В 2013 г. был описан клинический случай с 30-летней пациенткой, у которой диагностировался синдром ASIA (аутоиммунно-аутовоспалительный синдром, вызванный адьювантами). У данной пациентки были шесть из семи основных критериев диагноза ASIA: лихорадка, миалгия, слабость, артралгия, сонливость, нарушение концентрации и памяти в сочетании с анамнестическим контактом с адьювантом (ртуть). Единственный критерий, который был наименее выраженным, – это наличие аутоантител. Но случай описан на фоне применения иммунодепрессивных препаратов, которые и могли подавить их продукцию. Удаление ртути является обязательным способом лечения в таких случаях [26]. В 1999 г. были зарегистрированы признаки иммунопатологических поражений полости рта, связанные с металлами, используемыми в стоматологии, в том числе ртутью. Последняя (в качестве основного компонента зубной амальгамы) рассматривается как причина развития орального лихеноидного поражения, имеющего, как известно, аутоиммунные звенья патогенеза [23–25, 30]. Было показано, что сенсибилизация к ртути служит причиной возникновения проявлений красного плоского лишая в полости рта. Ртутная зубная амальгама может вызвать иммунологические реакции у генетически восприимчивых людей. Была определена повышенная продукция аутоантител SSB/La *in vitro* в средах после стимуляции культивируемых лимфоцитов периферической крови пациентов с помощью HgCl₂. Кроме того, у пациентов, имеющих аутоиммунное заболевание щитовидной железы и стоматологическую ртуть-содержащую пломбу, может происходить стимуляция выработки антиядерных аутоантител [13, 27–29]. Старательская добыча золота, выделка кож, применение отбеливающих кожу косметических средств, влияние аэрополлютантов и употребление рыбы и морепродуктов из загрязненной акватории – наиболее типич-

ные причины попадания в организм человека избытка ртути. В клинике и в эксперименте ртутная нагрузка оказывает провоспалительный эффект и провоцирует аутоиммунитет, в частности – по отношению к почечным, нейтральным и неорганоспецифическим ядерным аутоантигенам (например, ядрышковому белку фибрилларину) [23]. Однако вопрос о связи ртути и аутоиммунных тиропатий является дискуссионным. Некоторые исследования не выявили статистически значимой взаимосвязи между применением ртутьсодержащей зубной амальгамы и наличием аутоиммунных поражений щитовидной железы [13, 29], другие обнаружили, что ртутная индукция аутоиммунных патологий свойственна генетически предрасположенным линиям животных, но не выражена при отсутствии такой предрасположенности [19].

Йод (I, от греч.: *ἰώδης*, фиолетовый (по цвету паров)) относится к числу незаменимых микроэлементов. Этот самый тяжелый из нормальных эссенциальных элементных компонентов организма человека входит в состав тиреоидных гормонов, играющих важную роль регуляции обмена веществ [15].

Свободный йод высокотоксичен. Токсичное действие избытка йода на организм связано со способностью ионов йода образовывать комплексы с катионами металлов, входящих в активные центры ферментов, и подавлять их активность. Йодизм включает поражение почек, экзокринных желез и сердечно-сосудистой системы. При вдыхании паров йода появляются головная боль, кашель, насморк, может развиваться отек легких. При попадании на слизистую оболочку глаз наблюдаются слезотечение, боль в глазах и покраснение. При попадании внутрь отмечаются общая слабость, головная боль, повышение температуры, рвота, понос, бурый налет на языке, боли в сердце и учащение пульса, гематурия, развиваются почечная недостаточность и миокардит. Без лечения наступает летальный исход [20]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) йода в воде – 0,125 мг/дм³, а в воздухе – 1 мг/м³.

Общее количество йода в организме порядка 25 мг. Более 50% его находится в щитовидной железе, из них около 1% – в виде йодид-иона, а 99% – в составе тироглобулина и тиреоидных гормонов. Щитовидная железа способна накапливать I⁻ до уровня, в 25 раз превышающего его содержание в плазме крови. На втором месте по содержанию йода стоят лейкоциты, в частности – гранулоциты. Общеизвестна роль дефицита йода в этиологии неаутоиммунных форм гипотироза. Но у йода и его соединений установлены адьювантные свойства и способность провоцировать аутоиммунные тиропатии, в том числе хронический тиреоидит Хасимото и болезнь фон Базедова-Грейвса (БФБГ) – диффузный токсический зоб или аутоиммунную форму тиротоксикоза [15].

В последнее время в России на законодательном

уровне выдвинуты сомнительные с научных позиций предложения безальтернативно йодировать абсолютно во всех регионах страны продукты питания, такие как соль, хлеб и другие [14, 15]. При этом не учитываются особенности биогеохимических провинций, где может быть не только пониженное, но достаточное либо повышенное содержание данного микроэлемента, который, в свою очередь, имеет неоднозначную связь с аутоиммунными процессами в качестве адьювантноподобного вещества [14].

Целью данного исследования было изучить в биосубстратах (волосах) жителей различных регионов России содержание адьювантно действующих микроэлементов – алюминия, ртути и йода – для установления возможных связей между ними и заболеваемостью населения тиротоксикозом (БФБГ). Изучалось содержание микроэлементов в волосах детей как категории населения, минимально использующей краски и другие косметические средства ухода за волосами, искажающие картину распределения микроэлементов в этих биосубстратах.

Материалы и методы исследования

В качестве анализируемой была взята группа «Дети 0–14 лет» (проживающие на территории Российской Федерации с рождения или в течение 10 лет и более), а в качестве изучаемого показателя – заболеваемость с впервые установленным диагнозом тиротоксикоз (болезнь фон Базедова-Грейвса, далее – БФБГ) на 100 тыс. населения. Временной период исследования: с 2008 по 2017 г. включительно [16–18]. По современным представлениям, существует единое аутоиммунное заболевание щитовидной железы, проявляющееся комбинацией гуморальных и клеточных механизмов аутоагрессии против этого органа, причем на крайних полюсах стоят болезнь фон Базедова-Грейвса (преобладание антитело-опосредованной аутоагрессии) и болезнь Хасимото (преобладание клеточно-опосредованной аутоагрессии), а подавляющее большинство реальных случаев представлено смешанными формами аутоиммунной патологии переменной динамики соотношения антитело-опосредованных и клеточных механизмов. Ввиду этого в современной литературе нозологическая форма, связанная с аутоагрессией против щитовидной железы, часто обозначается как «аутоиммунное заболевание щитовидной железы» [15].

В анализ включены все федеральные округа – Центральный, Северо-Западный, Южный, Северокавказский, Приволжский, Уральский, Сибирский и Дальневосточный. Использованы данные по количествам микроэлементов, определенным в клиническом исследовании в волосах детей на указанных территориях [8].

Заболеваемость в каждом регионе рассчитывали по

данным официальных государственных сборников статистических материалов Российской Федерации [8, 16–18]. Методом скользящего среднего (rolling mean) рассчитывали впервые выявленную заболеваемость БфБГ на 100 тыс. населения в изучаемый период.

Для выявления влияния изучаемых факторов на заболеваемость использовали регрессионный анализ. Так как заболеваемость является величиной дискретной и неотрицательной, применяли отрицательную биномиальную обобщенную линейную модель. В ней, в отличие от модели Пуассона, учитывается избыточная дисперсия данных (overdispersion), что позволяет получать несмещенные оценки параметров.

В качестве количественных характеристик влияющих факторов и заболеваемости использовали среднее арифметическое по всем регионам и стандартное отклонение ($M(\sigma)$), медиану и квартили ($Md [Q1; Q3]$), минимальное и максимальное значения (размах). Влияющие факторы включались в модель независимо друг от друга без предварительной трансформации. Расчет модели производили в среде R version 3.6.1 при помощи функции glm.nb (MASS). Синтаксис функции:

```
glm.nb(AT~Al + Hg + J + offset(1000)).
```

На основании коэффициентов регрессии рассчитывали коэффициенты заболеваемости (incidence rate ratio, IRR) и их 95% доверительные интервалы (95% CI). Результат считали статистически значимым при вероятности ошибки первого рода (p) менее 0,05.

Результаты и обсуждение

В графическом виде регрессионная модель зависимости региональной заболеваемости аутоиммунным заболеванием щитовидной железы от содержания ртути, йода и алюминия в волосах детей показаны на рис. 1.

В табл. 1 представлены значения коэффициентов моделей для всех трех рассмотренных микроэлементов. В табл. 2 представлены усредненные по регионам данные о заболеваемости БфБГ среди детей 0–14 лет и количественные характеристики содержания микроэлементов в их волосах.

В целом, модель статистически значимо ($\chi^2 = 13,07(3)$, $p = 0,004$) связывает заболеваемость БфБГ у детей 0–14 лет с уровнем некоторых микроэлементов в волосах. Выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) прямая зависимость заболеваемости данной формой патологии от уровня йода и ртути в волосах,

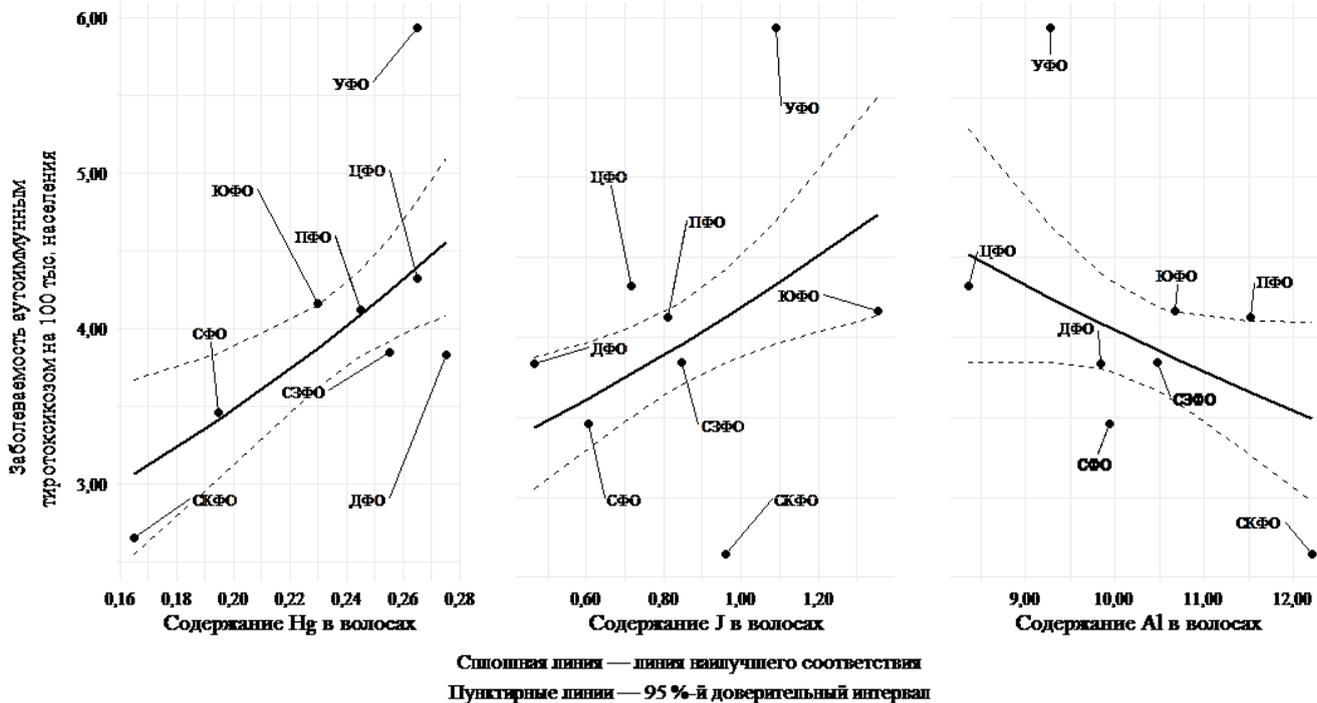


Рис. 1. Графическое представление регрессионной модели связи между региональной заболеваемостью БфБГ и содержанием микроэлементов в волосах у детей 0–14 лет. Графики построены по цифровым данным таблиц 1 и 2

вместе с тем, связи между заболеваемостью БфБГ и концентрацией алюминия в волосах не обнаружено.

Избыток йода, по нашим данным, значимо способствует развитию аутоиммунного заболевания щитовидной железы. Так, увеличение содержания йода в волосах на каждую единицу увеличивает заболеваемость в 1,44 (95% CI: 1,12–1,87) раза. Это согласуется с ранее полученными в ряде стран данными [14, 15, 22] и увязывается с адьювантным действием йода, этиологическая роль избытка которого при аутоиммунных поражениях щитовидной железы в настоящее время широко признана [24].

Полученные данные еще раз подкрепляют положение о необходимости дифференцированного, районированного подхода к йодной профилактике гипотироза. Сплошная слепая профилактика, создавая угрозу избытка йода в тех регионах, где нет его эндемического дефицита, может неблагоприятно сказаться на заболеваемости аутоиммунными тиропатиями [14, 15].

Влияние ртути на заболеваемость БфБГ еще более выражено. Согласно расчетам, при повышении концентрации ртути на единицу заболеваемость аутоиммунной тиропатией вырастает в 37,44 (95% CI: 3,59–381,25) раза! Наблюдаемый широкий доверительный интервал объясняется стабильными показателями содержания ртути ($Md = 0,25 [0,22;0,26]$) при широком диапазоне возможных значений (размах 0,16–0,28). Таким образом, малейшее увеличение показателя содержания ртути в волосах детского населения ведет

к значительному региональному приросту заболеваемости БфБГ, тогда как уменьшение – наоборот, к ее резкому снижению. По-видимому, избыток ртути служит существенным экзогенным фактором риска не только аутоиммунных нефропатии и васкулитов, ревматологической патологии и иммунопатологических поражений ЦНС [27], но и аутоиммунной тиропатии, на что ранее обращали меньше внимания. В подтверждение полученных нами данных сошлемся на исследования [20], показавшие прямую связь между содержанием ртути в крови американских женщин и уровнем аутоантител к основным аутоантигенам тироцитов – тиропероксидазе и тироглобулину. Это следует, на наш взгляд, учитывать при применении вакцин в детских контингентах: предпочтительны безртутные. Небольшие количества ртути в составе консерванта тиомерсала (мертиолята) содержат, в частности, вакцина против коклюша, дифтерии и столбняка (АКДС), вакцины против гепатита В, гемофильной b инфекции (Нib-вакцина), бешенства, гриппа и менингококковых инфекций. В то же время живые вакцины против кори, краснухи, паротита, желтой лихорадки, а также оральная полиовакцина и инактивированные вакцины в одноразовых упаковках не содержат ртути [32]. Россия производит безртутную вакцину от гепатита В («Комбиотех»).

Отрицательная связь между БфБГ и алюминием не достигает принятого уровня статистической значимости и может показаться слабой: коэффициент регресси-

Табл. 1

Параметры модели связи между заболеваемостью БфБГ и содержанием микроэлементов в волосах у детей 0–14 лет

Параметр модели	Коэффициент модели (b (se))	Уровень значимости
Константа	6,80 (0,62)	$p < 0,001$
Al	–0,07 (0,04)	$p = 0,085$
Hg	3,62 (1,21)	$p = 0,003$
I	0,37 (0,13)	$p = 0,005$
Параметр дисперсии Θ	116,87 (59,95)	–

Табл. 2

Усредненные по регионам характеристики содержания микроэлементов в волосах и заболеваемости БфБГ у детей 0–14 лет

Исследуемый показатель	M (σ)	Md [Q1;Q3]	Размах
Al (мкг/г)	10,28 (1,22)	10,21 [9,70;10,88]	8,36–12,21
Hg (мкг/г)	0,24 (0,04)	0,25 [0,22;0,26]	0,16–0,28
I (мкг/г)	0,86 (0,28)	0,83 [0,69;0,99]	0,46–1,35
БфБГ, заболеваемость (на 100 тыс. населения)	4,04 (0,93)	3,98 [3,74;4,20]	2,65–5,94

онной модели всего лишь $-0,07$ (табл. 1). Однако ввиду гораздо более широкого размаха варьирования уровня алюминия в сравнении с ртутью и йодом (табл. 2) в волосах оно может вносить существенный вклад в региональные различия по заболеваемости БфБГ.

Факторы, вызывающие аутоиммунную патологию, действуют при взаимно пермиссивных связях между ними как сложная мозаика. Так можно истолковать тот факт, что в Дальневосточном округе заболеваемость БфБГ существенно ниже, чем в Уральском, при одинаково высоком содержании ртути в волосах детей. На наш взгляд, это может быть обусловлено пермиссивным действием других факторов, которые включены в мозаику аутоиммунитета, различающихся в этих регионах. Так, в этих округах существенно различается доступность йода. Ранее было показано, что у беременных женщин возрастание содержания ртути в крови существенно коррелирует со снижением уровня трийодтиронина, только если они применяют йодсодержащие биодобавки, что свидетельствует о реальности пермиссивных влияний одного микроэлемента на эффекты другого [22]. Вместе с тем, нельзя не учитывать, что ртуть может поступать в организм из разных источников, и одно дело – когда она поступает с морепродуктами в приморской местности, а другое – в составе комплексных загрязнений тяжелыми металлами в металлургическом регионе.

Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования концентрации микроэлементов в волосах как диагностического и прогностического показателя риска аутоиммунной тиропатии. Наиболее выраженная прямая связь обнаружилась между заболеваемостью аутоиммунной тиропатией и содержанием в волосах йода и, особенно, ртути.

Нарушения микроэлементного статуса у детей и ранее изучались в контексте связи с определенными заболеваниями и показателями их физического развития. Выявлены обратные связи между концентрациями мышьяка (As) и ртути (Hg) в волосах и уровнем физической работоспособности. Для селена (Se) была, наоборот, выявлена прямая зависимость между его концентрацией в волосах и физической работоспособ-

ностью, что увязывают с ролью Se в антиоксидантной системе [4–7].

Состояние биогеохимической среды, зависящее как от природных, так и антропогенных факторов, оказывает главенствующее влияние на элементный состав организма человека. Различные уровни содержания микроэлементов в волосах у детей указывают в контексте предрасположенности к аутоиммунному поражению щитовидной железы на изменение элементного гомеостаза, возникающее при адаптации детского организма к заболеваниям и климатосоциогеографическим факторам окружающей среды.

Полученные результаты можно использовать для стандартизации методов диагностики аутоиммунной патологии щитовидной железы и для медицинского прогнозирования в тиреодологии. При этом основными микроэлементами в этом контексте, согласно полученным данным, должны быть йод и ртуть. В отношении алюминия данные о наличии связи между ним с заболеваемостью БфБГ менее определенные. Ранее даже при прямом токсическом действии алюминия в экспериментах на животных не отмечали каких-либо существенных необратимых эффектов в отношении щитовидной железы [22, 34].

Заключение

Микроэлементы с адьювантными и гаптенными свойствами – такие как ртуть и йод – способствуют увеличению частоты аутоиммунного заболевания щитовидной железы. Формирование микроэлементного статуса организма в онтогенезе сопряжено с динамически изменяющейся потребностью в незаменимых микроэлементах, на которую влияют сезонные и местные природно-климатические факторы при взаимно пермиссивных взаимодействиях различных микроэлементов, в том числе токсичных [1, 3, 10]. Нарастание концентраций как токсичных микроэлементов, так эссенциальных микроэлементов сверх потребности может неблагоприятно сказываться на аутоиммунитете. Своевременная диагностика и коррекция элементного статуса населения, в первую очередь детей, служит важным условием поддержания здорового развития человека, профилактики и лечения аутоиммунных заболеваний.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Бонитенко ЕЮ. Элементный статус населения России. Часть 1. Общие вопросы и современные методические подходы к оценке элементного статуса индивидуума и популяции. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2010.
2. Виноградов АП. Изучение биогеохимических провинций в связи с их народнохозяйственным значением. Вестник АН СССР 1939; 1:109.
3. Вернадский ВИ. Биосфера. М.: Издательский дом Ноосфера; 2001.

4. Волосникова ТВ. Физическая культура в системе управления оздоровлением дошкольников в экологических условиях мегаполиса. Автореф. дисс. ... докт. пед. наук. СПб.; 2011.
 5. Государственный доклад. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году. Москва; 2017.
 6. Государственный доклад. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Ленинградской области в 2009 году. Роспотребнадзор, СПб.; 2009.
 7. Зайчик АШ, Чурилов ЛП. Патохимия. Эндокринно-метаболические нарушения. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2007.
 8. Скальный АВ, Киселева МФ. Элементный статус населения России. Т. 1-5. СПб.: ЭЛБИ-СПб; 2011–2014.
 9. Скальный АВ. Развитие концепции биоэлементов и перспективы биоэлементологии. Микроэлементы в медицине. 2009;10(3-4):1-6.
 10. Скальный АВ. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО «Центр биотической медицины»). Микроэлементы в медицине. 2003;1(4):55-6.
 11. Скальный АВ, Грабеклис АР, Демидов ВА. Связь элементного статуса населения Центрального федерального округа с заболеваемостью. Часть 2. Эссенциальные и условно эссенциальные химические элементы. Микроэлементы в медицине. 2012;2(13):1-7.
 12. Скальный АВ, Быков АТ. Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине. Оренбург: РИК ГОУОГУ; 2003.
 13. Сопрун ЛА, Чурилов ЛП, Мироненко ОВ, Юрчишина КС, Тихонова ОА. Предпосылки развития аутоиммунно-воспалительного синдрома, вызванного адьювантами (ASIA), в стоматологической практике. Клиническая патофизиология. 2017;4:40-8.
 14. Строев ЮИ, Чурилов ЛП. Осторожно: «йодниковый период»! (К законопроекту об обязательном йодировании поваренной соли). Здоровье – основа человеческого потенциала. Проблемы и пути их решения. 2016;11(1): 135-48.
 15. Строев ЮИ, Чурилов ЛП. Самый тяжелый элемент жизни (к 200-летию со дня открытия йода). Биосфера. 2012;4(3):313-42.
 16. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Статистический сборник «Регионы России. Социально-экономические показатели». Москва: Росстат; 2009, 2012, 2014, 2016.
 17. Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения Министерства здравоохранения Российской Федерации. Статистический материал. В 65 томах. Москва: Изд-во ЦНИИ ОИЗ; 2008-2016.
 18. Федеральная служба государственной статистики. Информационные материалы о предварительных итогах Всероссийской переписи населения 2010 года. Численность населения районов и городских населенных пунктов субъектов Российской Федерации. М.: Росстат; 2010.
- Общий список литературы/Reference list**
1. Bonitenko YeYu. Elementnyi Status Naseleniya Rossii. Chast 1. Obschiye Voprosy i Metodologicheskiye Podhody k Otsenke Elementnogo Statusa Individuuma i Populyatsii. [Elemental Status of the Russian Population. Part 1. General Issues and Modern Methodological Approaches to the Assessment of the Elemental Status of an Individual and a Population]. Saint-Petersburg: ELBI; 2010. (In Russ.)
 2. Vinogradov AP. [Studies of the biogeochemical provinces in relation to their significance for economy]. Vestnik AN SSSR 1939;1:109. (In Russ.)
 3. Vernadsky VI. Biosfera. [The Biosphere]. Moscow: Noosfera Publishers; 2001. (In Russ.)
 4. Volosnikova TV. Fizicheskaya Kultura v Sisteme Upravleniya Ozdorovleniem Doshkolnikov v Ekologicheskikh Usloviyah Megapolisa. [Physical Culture in the System of Preschool Health Care under Megalopolis Ecological Conditions]. PhD Theses. Saint Petersburg, 2011. (In Russ.)
 5. Gosudarstvennyi Doklad. O Sostoyanii i Obokhrane Okruzhayushey Sredy v Rossijskoy Federatsii v 2016 Godu. [State Report, On the Status and Protection of Environment in the Russian Federation in 2016]. Moscow; 2017. (In Russ.)
 6. Gosudarstvennyi Doklad. O Sanitarno-Epidemiologicheskom Sostoyanii v Leningradskoj oblasti v 2009 Godu. [State Report. On the Sanitary and Epidemiological Conditions in Leningradskaya Oblast in 2009]. Saint-Petersburg: Rospotreb-nadzor; 2009. (In Russ.)
 7. Zaychik ASH, Churilov LP. Patokhimiya. Endokrinno-Metabolicheskiye Narusheniya [Pathochemistry. Endocrine and Metabolic Disorders]. Saint-Petersburg: ELBI-SPb; 2007. (In Russ.)
 8. Skalny A, Berezhkina E. Elementnyi Status Nasele-niya Rossii TT 1-5. [Elemental Status of the Popu-lation of Russia Vol. 1-5]. Saint-Petersburg: Med-kniga ELBI-SPb. 2011-2014. (In Russ.)

9. Skalny AV. [Development of the concept of bioelements and prospects of bioelementology]. *Mikroelementy v Meditsine*. 2009;10(3-4):1-6. (In Russ.)
10. Skalny AV. [Reference values of the concentrations of chemical elements in hair obtained with the ISP-NPP method (ANO Center of Biotic Medicine)]. *Mikroelementy v Meditsine*. 2003;1(4):55-6. (In Russ.)
11. Skalny AV, Grabeklis AR, Demidov VA. [Connection of the elemental status of the population of the Central Federal district with morbidity. Part 2. Essential and conditionally essential chemical elements]. *Mikroelementy v Meditsine*. 2012;2(13):1-7. (In Russ.)
12. Skalny AV, Bykov AT. *Ekologicheskiye i Fiziologicheskiye Aspekty Ispol'zovaniya Makro- i Mikroelementov v Vosstanovitelnoy Meditsine*. [Ecological and Physiological Aspects of the Use of Macro- and Microelements in Restorative Medicine]. Orenburg: RIK GOUUGU; 2003. (In Russ.)
13. Soprun LA, Churilov LP, Mironenko OV. [Prerequisites for the development of autoimmune-inflammatory syndrome induced by adjuvants (ASIA) in dental practice]. *Klinicheskaya Patofiziologiya*. 2017;4:40-8. (In Russ.)
14. Stroyev YuI, Churilov LP. [Caution: «Iodize Age»! (Concerning the bill on mandatory iodization of cooking salt)]. *Zdorovye Osnova Chelovecheskogo Potentsiala Problemy i Puti Ikhh Resheniya* 2016;11(1):135-48. (In Russ.)
15. Stroyev YuI, Churilov LP. [The heaviest bioelement (to the 200th anniversary of the discovery of iodine)]. *Biosphera* 2012;4(3):313-42. (In Russ.)
16. Federalnaya Gosudarstvennaya Statisticheskaya Sluzhba (Rosstat). *Statisticheskiy Sbornik Regiony Rossii. Sotsialno-Ekonomicheskiye Pokazateli*. [Federal State Statistics Service (Rosstat). Statistical Collection Regions of Russia. Socio-economic Indicators]. Moscow: Rosstat; 2009, 2012, 2014, 2016. (In Russ.)
17. Tsentralnyi Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Organizatsii i Informatizatsii Zdravookhraneniya Minzdrava RF. *Statisticheskiy Material*. [Central Research Institute of Organization and Informatization of Health Care of the Ministry of Health of the Russian Federation. Statistical Materials. Vol. 1-65]. Moscow: CNII OIZ; 2008-2016. (In Russ.)
18. Federalnaya Gosudarstvennaya Statisticheskaya Sluzhba. *Informatsionnye Materialy o Predvaritelnykh Rezultatakh Vserossiyskoy Perepisi Naseleniya 2010 Goda. Chislennost Naseleniya Rayonov i Gorodskikh Poseleniy Subyektov Rossiyskoy Federatsii*. [Federal State Statistics Service. Information Materials on the Preliminary Results of the all-Russian Census of 2010. The Population of Districts and Urban Settlements of the Subjects of the Russian Federation]. Moscow: Rosstat; 2010. (In Russ.)
19. Crowe W, Allsopp PJ, Watson GE, Magee PJ, Strain JJ, Armstrong DJ, Ball E, McSorley M. Mercury as an environmental stimulus in development of autoimmunity – A systematic review. *Autoimmun Rev*. 2017;16:72-80.
20. Gallaher CM, Melliker JR. Mercury and thyroid autoantibodies in US women: NHANES 2007-2008. *Environ Internat* 2012;49:39-43.
21. Lidsky TI. Is the Aluminum Hypothesis dead? *J Occup Environ Med*. 2014;(Suppl 5):S73-9. DOI:1097/DOM.0000000000000063.
22. Llop S, Lopez-Espinosa M-J, Murcia M, Alvarez-Pedrerol M, Vioque J, Aguinagalde X, Julvez J, Aurekoetxea JJ, Espada M, Santa-Marina L, Rebagliato M, Ballester F. Synergism between exposure to mercury and use of iodine supplements on thyroid hormones in pregnant women. *Environ Res*. 2015;138:298-305. DOI: 10.1016/j.envres.2015.02.02
23. Henkin RI. Trace metals in endocrinology. *Med Clin North Am* 1976;60(4):779-97.
24. Orihuela D. Aluminium effects on thyroid gland function: Iodide uptake, hormone biosynthesis and secretion. *J Inorgan Biochem*. 2011;105(11):1454-68.
25. Pollard KM, Cauvi DM, Toomey CB, Hultman P, Kono DH. Mercury-induced inflammation and autoimmunity. *Biochim Biophys Acta Gen Subjects*. 2019; 1863:129299. DOI:10.1016/j.bbagen.2019.02.001.
26. Ragusa F, Fallahi P, Elia G, Gonnella D, Paparo SR, Giusti C, Churilov LP, Ferrari SM, Antonelli A. Hashimotos' thyroiditis: Epidemiology, pathogenesis, clinic and therapy. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2019;26:101367. DOI: 10.1016/j.beem.2019.101367.
27. Silbergeld EK, Silva IA, Nyland JF. Mercury and autoimmunity: implications for occupational and environmental health. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2005;207:S282-S292.
28. Sinkkonen A, Ollila S, Romantschuk M. Changes in TspA gene frequency explain 2,4,6-trichlorophenol degradation in mesocosms. *J Environ Sci Health Pt B*. 2014;49(10):756-9.
29. Schloss PD, Gevers D, Westcott SL. Reducing the effects of PCR amplification and sequencing artifacts on 16S rRNA-based studies. *PLoS One*. 2011;6(12):e27310. DOI: 10.1371/journal.pone.0027310.
30. Vernadsky VI. Problems of biogeochemistry. The fundamental matter-energy difference between the living and inert natural bodies of the Biosphere. *Trans Conn Acad Arts Sci*. 1944; 35:483-517.
31. Wong JY. Cumulative PM (2.5) exposure and telomere length in workers exposed to welding fumes. *Toxicol Environ Health A*. 2014;77(8):441-55. DOI: 10.1080/15287394.2013.875497.
32. WHO. Theomersal Questions and Answers. 2011. URL https://www.who.int/immunization/newsroom/thiomersal_questions_and_answers/ru/ (in Russ.)

ОСНОВНЫЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ У ЛЕТНОГО СОСТАВА НА РАЗНЫХ СРОКАХ СЛУЖБЫ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

Г.Г. Загородников¹, А.Е. Коровин^{1*}, В.Г. Миронов¹,

Г.Н. Загородников¹, Д.В. Товпеко¹, Л.П. Чурилов²

¹ Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова и ² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: korsyrik@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25.12.2019; принята к печати 12.02.2020

Проведена оценка ряда показателей периферической крови военнослужащих летного состава в условиях Крайнего Севера на разных сроках службы: сразу по прибытии на Крайний Север и на третьем, шестом и двенадцатом месяцах службы. Определяли метаболические показатели (холестерин общий и в липопротеинах высокой, низкой и очень низкой плотности, триглицериды, глюкоза, билирубин и коэффициент атерогенности), лейкоцитарную формулу и содержание эритроцитов в крови. Эти показатели в группах с разными сроками службы в полярных условиях сравнивались между летчиками клинически здоровыми (контроль) и имеющими диагнозы различных заболеваний и пограничных состояний, не исключающих деятельность по специальности: остеохондроз позвоночника, гастродуоденит, миокардиодистрофии, невровазкулярная дистония, пограничная артериальная гипертензия. При сравнении с контролем в последних трех группах выявлены статистически значимые возрастания содержания общего холестерина (на 11,7–17%); холестерина липопротеидов высокой плотности (5,1–7%); холестерина липопротеидов низкой плотности (10,4–14,1%); холестерина липопротеидов очень низкой плотности (17,2–27,6%); коэффициента атерогенности (9,8–11,8%); триглицеридов (15,6–18%); глюкозы (6,1–14,6%); общего билирубина (22,6–25%); палочкоядерных нейтрофилов (18,2–27,3%); сегментоядерных нейтрофилов (5,7–14,4%); эозинофилов (15,4–23,1%); моноцитов (13,2–21,1%); лимфоцитов (9,1–11,4%); эритроцитов. Наиболее выраженными изменения были в случаях гипертензии. Результаты обсуждены в связи с особенностями адаптации летного состава к стрессу, вызываемому условиями Крайнего Севера.

Ключевые слова: летный труд, полярная адаптация, Крайний Север, дезадаптация, липидный обмен, стресс, лейкоцитарная формула, артериальное кровяное давление.

THE MAIN HEMATOLOGICAL AND METABOLIC CHARACTERISTICS OF PERIPHERAL BLOOD IN MILITARY PILOTS AT DIFFERENT TERMS OF THEIR SERVICE IN ARCTIC

G.G. Zagorodnikov¹, A.Ye. Korovin^{1*}, V.G. Mironov¹, G.N. Zagorodnikov¹,
D.V. Tovpeko¹, L.P. Churilov²

¹S.M. Kirov Military Medical Academy and ²Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: korsyrik@mail.ru

A series of peripheral blood characteristics were assessed in military pilots at service in Arctic immediately upon arrival at their dislocation site and by the end of the third, sixth, and twelfth month of service. The metabolic characteristics included total cholesterol (Ch), cholesterol of high, low, and very low density lipoproteins (HDL, LDL, and VLDL), triglycerides (TG), glucose, bilirubin, and atherogenicity index. Differential white blood cell and red blood cell counts were determined in stained blood smears. The parameters were compared at each term of service between groups of pilots having diagnoses «healthy» (control), spinal osteochondrosis, gastroduodenitis, myocardiodystrophy, neurovascular dystonia, and marginal arterial hypertension, which were below levels judged as contraindications against professional duties. In the last three of the above conditions, statistically significant increases over control values were found in total Ch (by 11,7–17%); HDL-Ch (5,1–7%); LDL-Ch (10,4–14,1%); VLDL-Ch (17,2–27,6%); atherogenicity index (9,8–11,8%); TG (15,6–18%); glucose (6,1–14,6%); total bilirubin (22,6–25%); rod cells (18,2–27,3%); segmented cells (5,7–14,4%); eosinophils (15,4–23,1%); monocytes (13,2–21,1%); lymphocytes (9,1–11,4%); and red blood cells (7,5–11,3%). These changes were most expressed upon marginal hypertension. The results are discussed in the context of pilots' adaptation to stress caused by Arctic conditions.

Keywords: aviation personnel, adaptation, Far North, maladaptation, lipid metabolism, stress, blood cell counts, arterial hypertension.

Введение

Экологические условия Заполярья характеризуются сочетанным действием ряда стрессоров, связанных с климатическими факторами, а также с сезонными изменениями освещенности, способными нарушать циркадные ритмы в организме [1, 2]. Это формирует хронический стресс у человека, временно переселившегося в Арктику из других районов с привычным климатом и ритмами смены дня и ночи. В современных условиях возросло значение арктических территорий России, там активизировалась хозяйственная деятельность, увеличилась военная активность, связанная с защитой интересов РФ в Арктике [4, 13, 22].

В настоящее время обращается особое внимание на контроль уровня профессионального здоровья военнослужащих, проходящих службу в Арктической зоне, где сохранение здоровья военнослужащих является актуальнейшей проблемой и необходимым условием обеспечения их профессиональной надежности при выполнении боевых задач [4, 24].

Труд в условиях Арктики осуществляется нередко вахтовым методом или в режиме командировок, причем для его осуществления люди меняют место жительства и привычные экологические условия на новые, экстремальные [2]. Согласно положениям учения о стрессе Г. Селье, наиболее стрессогенной может быть смена стереотипа: «Не имеет значения – приятна или неприятна ситуация, с которой мы столкнулись, имеет значение лишь интенсивность потребности в перестройке или адаптации» [31]. Прибывшие в Арктику для прохождения службы военнослужащие в подавляющем большинстве не являются уроженцами тех мест, где проходит их служба, ввиду чего испытывают и стресс перемены стереотипов. Летный труд в условиях Арктики сопряжен с особенно интенсивными и длительными стрессами [8]. Действие низких температур вызывает целый ряд патоморфологических и биохимических перестроек в различных органах и системах [23, 25, 41]. Специфика геомагнитной активности и состояния ионосферы на Крайнем Севере, особенно – в период полярных сияний, накладывают свой отпечаток на функционирование центральных звеньев регуляции адаптационных процессов [2]. Сложные комбинации этих изменений создают компенсаторно-приспособительную реакцию, которая формирует ответ органов и систем на комплекс экологических факторов [23]. Важнейшую роль при этом играют центральные нейроэндокринные механизмы адаптации к чрезвычайным раздражителям, что на материале исследований приспособления к жизни и труду в Антарктиде подчеркивал классик экологической физиологии Д.А. Бирюков [6]. При выполнении работ в условиях Севера в холодные зимние месяцы на организм человека оказывают действия не только сами метеорологические факторы: низкая темпера-

тура, повышенная влажность, сильный ветер, пониженное парциальное давление кислорода, геомагнитные бури, – но и психоэмоциональное напряжение, обусловленное постоянным стрессом при ответственной и опасной трудовой деятельности, и принятии решений в условиях ограниченного времени. Перечисленные факторы оказывают отрицательное влияние на структурно-метаболические процессы в первую очередь в сердечно-сосудистой, дыхательной, нейроэндокринной и кроветворной системах [1, 5, 6, 38].

Оценка эффективности военно-профессиональной адаптации военнослужащих, проходящих службу в условиях Арктики, предполагает исследование динамики физиологических и психических реакций организма в условиях воздействия быстро изменяющихся неблагоприятных экологических факторов и разработку соответствующих лечебно-профилактических мероприятий, направленных на предотвращение нарушений адаптации, повышение профессиональной работоспособности и уровня здоровья военнослужащих [4, 20].

Известно, что одновременное воздействие на организм военнослужащего быстро изменяющихся нескольких неблагоприятных факторов внешней среды оказывает отрицательное влияние на скорость развития у него устойчивых форм адаптации [1, 35, 40]. Авторы отмечают, что суммарное воздействие неблагоприятных факторов внешней среды приводит к замедлению скорости мобилизации приспособительных механизмов и последовательности их включения на разных уровнях регуляции жизнедеятельности организма, что является одной из причин возникновения у военнослужащих пограничных функциональных состояний или даже заболеваний.

Ряд исследователей установили, что на первом этапе адаптации происходит угнетение различных звеньев неспецифического иммунитета, который ко 2–3-му году пребывания на Крайнем Севере военнослужащих, признанных здоровыми, в большинстве случаев достигает своих исходных данных, тогда как у лиц с выявленными заболеваниями сердечно-сосудистой системы может наблюдаться «отсроченная адаптация», которая характеризуется нарушениями, проявляющимися с регулярным постоянством через 1,5–2 года [29]. М.П. Рощевский [30] отмечает, что для большинства показателей неспецифического иммунитета двухлетний срок пребывания людей на Севере является недостаточным для восстановления исходных фоновых параметров функционирования иммунной системы.

В.П. Казначеев и соавт. [19], В.А. Губин, В.М. Лыткин [11], В.Г. Донченко и соавт. [12] определяют военно-профессиональную адаптацию как процесс социально-биологического приспособления человека к особенностям воинской службы. По мнению авторов, военно-профессиональная адаптация должна вклю-

чать в себя физиологическую, профессиональную и социально-психологическую адаптацию, обусловленную вхождением в воинский коллектив [32]. По мнению других исследователей, военно-профессиональная адаптация военнослужащих также должна включать психофизиологическую адаптацию, обусловленную изменениями требований деятельности к состоянию здоровья военнослужащих [9, 10]. При этом авторы обращают внимание на то, что без соответствия состояния здоровья требованиям выбранной профессии длительная высокая эффективность профессиональной деятельности невозможна. Если в привычных экологических условиях, при умеренном действии климатических и других экологических факторов резервы стрессоустойчивости позволяют военнослужащему вести профессиональную деятельность без проявлений дезадаптации и развития преморбидных состояний, связанных с дистрессом, в течение длительного времени, то в экстремальных условиях Арктики эти проявления и состояния наступают раньше [37].

Адаптацию военнослужащих Г.Г. Загородников и А.А. Боченков [14] рассматривают как приспособление организма к новым условиям жизнедеятельности в целях сохранения работоспособности, необходимой для выполнения с высокой эффективностью стрессогенных профессиональных задач.

П.О. Вязицкий и соавт. [10] отмечают, что в начале службы основные трудности у военнослужащего обусловлены, прежде всего, адаптацией на биологическом уровне, так как она первична по времени и связана с необходимостью перестройки организма в специфических условиях армейской жизни. По данным авторов, продолжительность биологической адаптации существенно зависит от климатогеографических условий: в средней полосе страны этот период составляет около 3–5 месяцев; в районах Крайнего Севера, Камчатки и Чукотки – до 10 месяцев.

Классик физиологии адаптации Ф.З. Меерсон [27] считал, что в результате биологической адаптации создается материальная основа в виде системно-структурного следа, включающего три компонента: перестройку энергетического ресурса, синтез ферментных систем, образование белковых структур. По его мнению, без создания материальной базы нового уровня функционирования процесс адаптации не может считаться завершенным; именно она определяет эффективность гомеостазизирующего поведения организма, адекватного условиям жизни, быта и деятельности.

В патофизиологии критерием достаточности адаптации, протекающей в виде гиперфункции, гипертрофии и для ряда органов и тканей – гиперплазии, считается энергетическая и пластическая бездефицитность – то есть динамическое соответствие выработки энергии и поставки субстратов метаболизма

потребностям гомеореза при новом уровне функционирования. Психофизиология добавляет к этому критерий информационной бездефицитности [34].

Практическим критерием завершения адаптации на биологическом уровне в военной медицине считается снижение показателя общей заболеваемости военнослужащих-новобранцев [16].

М.П. Роцевский [30] установил, что сохранение в новых условиях среды оптимального состояния жизненных функций будет свидетельствовать о развитии адаптации, а при недостаточности и нарушении защитно-приспособительных механизмов возможно новое качество – патология процессов адаптации. Вследствие этого важным как в теоретическом, так и в прикладном отношении является положение о так называемой «цене» адаптации. Отмечается, что в нормальных условиях между организмом и окружающей средой устанавливаются гармоничные взаимоотношения, когда же они нарушаются, в организме могут возникать различные отклонения в степени адаптивности и развивается дезадаптация. Удовлетворительное течение адаптации, по данным автора, свидетельствует о состоянии физиологической нормы; напряжение механизмов адаптации – о состоянии, пограничном с нормой; неудовлетворительное течение адаптации – о дезадаптации; срыв адаптации – о предпозологическом (преморбидном) состоянии, когда развитие болезней нарушенной адаптации – лишь вопрос времени.

А.Н. Онищенко и Д.Л. Котляр [28] при исследовании закономерностей адаптации летчиков ВМФ получили результаты, которые позволили авторам определить три стадии военно-профессиональной адаптации. Первая стадия – начальная, проявляется в течение первого года профессиональной деятельности, характеризуется напряжением механизмов адаптации: наблюдаются статистически достоверные различия характеристик функционального состояния организма молодых и опытных летчиков на основных этапах наземной подготовки и при выполнении различных видов полетов. Вторая стадия – формирования адаптации, продолжается до конца второго года профессиональной деятельности и отличается тем, что организм молодых летчиков перестраивается на уровень функционирования, адекватный новым условиям и показателям эффективности военно-профессиональной деятельности. Третья стадия – завершения адаптации, продолжается до конца третьего года профессиональной деятельности. На этой стадии уровень показателей функционального состояния организма, социально-психологических характеристик и заболеваемости у молодых летчиков стабилизируется на уровне, типичном для опытных летчиков.

Гормоны стресса – биорегуляторы контринсулярного действия. Они способствуют перераспреде-



нию пластических и энергетических эквивалентов к клеткам, не зависящих от инсулина в получении глюкозы и важных при форсированной антигипоксической адаптации. Объектами метаболической депривации при болезнях нарушенной адаптации, связанных с дистрессом, прежде всего служат органы и ткани мезенхимального происхождения, поскольку их соединительнотканые клетки располагают, по преимуществу, лишь инсулинозависимыми транспортерами глюкозы, в отличие о привилегированных при стрессе ЦНС, миокарда, гонад, надпочечников, диафрагмальной мышцы, сетчатки, почек и печени, где в достатке имеются не зависящие от инсулина транспортеры, продолжающие метаболические поставки в условиях стрессорной гипергликемии [26, 33].

Такая депривация при дистрессе касается, в первую очередь, сосудистых стенок, а также системы крови и кроветворения, где все клетки инсулинозависимы. Установлено, что в осуществлении защитных реакций организма важная роль принадлежит лейкоцитам крови, количество и формула которых в общем виде могут характеризовать иммунобиологическую реактивность организма и сильно изменяются в ходе стресса [15, 18]. Так, колебания лейкоцитарных формулы и профиля крови отражают изменившуюся реактивность организма при действии холода, тепла, физической нагрузки, эмоциональных воздействий и других стрессоров и экстремальных экологических факторов, причем описаны стрессорные: лейкоцитоз, нейтрофилия, эозино- и лимфопения [17].

Неслучайно как сердечно-сосудистые заболевания, включая артериальные гипертензии и атеросклероз, так и гематологические и иммунобиологические нарушения, равно как и другие заболевания инсулинозависимых тканей и органов (остеохондроз, гастродуоденит и др.), – входят в число классических болезней нарушенной адаптации, обусловленных дистрессом [31, 34].

В свете этого состояния лейкоцитов крови и показателей обмена липидов и глюкозы в контексте состояния системы регуляции кровяного артериального давления могут отражать механизмы стрессорной адаптации организма человека к летному труду в условиях Крайнего Севера. Целью настоящего исследования было оценить лейкоцитарную формулу и профиль, а также характеристики липидного и углеводного обмена у летного состава в начальный период адаптации к условиям Арктики при различном состоянии системы контроля артериального кровяного давления.

Материал и методы

Для оценки уровня функционального состояния организма летного состава, проходящего службу в условиях Заполярья, исследована периферическая

кровь, взятая в стационаре натошак в утренние часы у участников исследования, давших свое добровольное информированное согласие. Лейкоцитарную формулу периферической крови оценивали визуально по мазку, окрашенному азуром-2 и эозином. Концентрацию общего холестерина (ХС), общих триглицеридов (ТГ), холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП), холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), холестерина липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП) и глюкозы в сыворотке периферической крови определяли на анализаторе «Synchro CX-5-PRO». Рассчитывали коэффициент атерогенности по А.Н. Климову [21].

Исследование проводилось в четыре этапа: по прибытию летчиков на Крайний Север для прохождения дальнейшей службы, на третьем месяце службы на Крайнем Севере, на шестом и на двенадцатом месяцах. На каждом сроке проводили сравнение между летчиками клинически здоровыми и имеющими различные заболевания и преморбидные состояния, не препятствующие продолжению службы.

Результаты представлены в виде средних арифметических и стандартных ошибок ($M \pm m$). Различия между средними оценивали по t-критерию Стьюдента. За пороговый уровень значимости принимали величину $p < 0,05$.

Результаты

По состоянию здоровья обследованный летный состав (246 человек) распределился следующим образом: с диагнозом «Здоров» – 112 человек, с остеохондрозом какого-либо отдела позвоночника – 34, с хроническим гастродуоденитом – 32, с миокардиодистрофией – 24, с нейроциркуляторной дистонией – 20, с гипертонической болезнью в начальной стадии – 6, с другими заболеваниями – 18 человек.

По прибытию на службу (табл. 1) у летного состава с диагнозом «гипертоническая болезнь» при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» наблюдается статистически значимое (при $p < 0,001$) увеличение в периферической крови содержания палочкоядерных нейтрофилов, эозинофилов, моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛОНП, триглицеридов и общего билирубина на 27,3; 23,1; 21,1; 17,5; 27,6; 18 и 25,5% соответственно и, при $p < 0,01$, – содержания эритроцитов, сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов, холестерина ЛВП, холестерина ЛНП, коэффициента атерогенности и глюкозы на 11,3; 14,4; 11,4; 10,4; 11,8 и 14,6% соответственно.

У летного состава с диагнозом нейроциркуляторная дистония при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» отмечается статистически значимое ($p < 0,001$) увеличение в периферической крови содержания палочкоядерных нейтрофилов, общего билиру-

Характеристики периферической крови у летного состава в начале службы на Крайнем Севере

Показатель	Диагноз «Здоров»	Остеохондроз позвоночника	Хронический гастродуоденит	Миокардиодистрофия, миокардиосклероз	Нейроциркуляторная дистония	Гипертоническая болезнь	Другие заболевания
Гемоглобин, г/л	163 ± 0,53	163 ± 0,27	162 ± 0,21	163 ± 0,38	163 ± 0,78	164 ± 0,25	163 ± 0,45
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5,3 ± 0,37	5,5 ± 0,13	5,2 ± 0,16	5,7 ± 0,74*	5,7 ± 0,15*	5,9 ± 0,24**	5,2 ± 0,36
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	6,85 ± 0,24	6,96 ± 0,39	7,1 ± 0,12	7,22 ± 0,53*	7,24 ± 0,44*	7,32 ± 0,53*	6,83 ± 0,75
Палочкоядерные нейтрофилы (П), ×10 ⁹ /л	0,11 ± 0,002	0,11 ± 0,001	0,12 ± 0,001*	0,12 ± 0,002*	0,13 ± 0,002***	0,14 ± 0,002***	0,12 ± 0,001*
Сегментоядерные нейтрофилы (С), ×10 ⁹ /л	3,6 ± 0,005	3,72 ± 0,004	3,87 ± 0,006*	3,88 ± 0,005*	3,96 ± 0,005*	4,12 ± 0,006**	3,81 ± 0,004*
Эозинофилы, ×10 ⁹ /л	0,13 ± 0,003	0,13 ± 0,003	0,14 ± 0,002*	0,14 ± 0,004*	0,15 ± 0,003**	0,16 ± 0,005***	0,14 ± 0,003*
Лимфоциты, ×10 ⁹ /л	2,01 ± 0,04	2,1 ± 0,03	2,12 ± 0,02	2,19 ± 0,04*	2,2 ± 0,03*	2,24 ± 0,03**	2,18 ± 0,04*
Моноциты, ×10 ⁹ /л	0,38 ± 0,01	0,38 ± 0,02	0,41 ± 0,01*	0,39 ± 0,01	0,43 ± 0,02**	0,46 ± 0,01***	0,4 ± 0,02*
Соотношение П/С	0,031	0,032	0,031	0,031	0,031	0,034*	0,031
Общий белок, г/л	76 ± 2,5	76 ± 3,0	75 ± 3,0	76 ± 2,3	75 ± 2,7	76 ± 2,2	75 ± 2,5
Общий холестерин, ммоль/л	4,95 ± 0,04	5,06 ± 0,04	5,18 ± 0,09	5,24 ± 0,12*	5,53 ± 0,11**	5,79 ± 0,12***	5,22 ± 0,11*
Холестерин ЛВП, ммоль/л	1,15 ± 0,01	1,19 ± 0,03	1,21 ± 0,01*	1,21 ± 0,03*	1,23 ± 0,01*	1,27 ± 0,03**	1,21 ± 0,02*
Холестерин ЛНП, ммоль/л	3,19 ± 0,03	3,22 ± 0,09	3,24 ± 0,05	3,31 ± 0,12	3,64 ± 0,10**	3,75 ± 0,11**	3,24 ± 0,05
Холестерин ЛОНП, ммоль/л	0,58 ± 0,02	0,61 ± 0,05	0,62 ± 0,01*	0,62 ± 0,06*	0,68 ± 0,05**	0,74 ± 0,04***	0,62 ± 0,03*
Триглицериды, ммоль/л	1,28 ± 0,03	1,31 ± 0,06	1,33 ± 0,03	1,35 ± 0,08*	1,48 ± 0,11**	1,51 ± 0,09***	1,38 ± 0,05*
Коэффициент атерогенности	3,48 ± 0,05	3,59 ± 0,09	3,57 ± 0,12	3,65 ± 0,12	3,82 ± 0,14*	3,89 ± 0,11**	3,61 ± 0,07
Общий билирубин, мкмоль/л	13,7 ± 0,3	14 ± 0,5	13,9 ± 0,2	14,2 ± 0,6	16,8 ± 0,2***	17,2 ± 0,1***	14,5 ± 0,8*
Прямой билирубин, % от общего билирубина	24 ± 0,6	24 ± 0,8	24 ± 0,4	24 ± 0,8	25 ± 0,7	25 ± 0,5	24 ± 0,9
Глюкоза, ммоль/л	4,12 ± 0,15	4,2 ± 0,17	4,18 ± 0,55	4,15 ± 0,21	4,37 ± 0,13*	4,72 ± 0,36**	4,21 ± 0,14

Примечание: *, **, *** – отличия от показателей летного состава с диагнозом «Здоров» достоверны при $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$ соответственно.

бина и холестерина ЛОНП и, при $p < 0,01$, – эозинофилов, моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛНП и триглицеридов на 15,4; 13,2; 11,7; 14,1 и 15,6% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – эритроцитов, лейкоцитов, сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов, холестерина ЛНП; коэффициента атерогенности и глюкозы на 7,5; 5,7; 10; 9,5; 7; 9,8 и 6,1% соответственно.

У летного состава с диагнозом миокардиодистрофия и миокардиосклероз при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови наблюдается достоверное ($p < 0,05$) повышение содержания эритроцитов, лейкоцитов, палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, лимфоцитов, общего холестерина, холестерина ЛНП, холестерина ЛОНП на 7,5; 5,4; 9,1; 7,8; 7,7; 9; 5,9; 5,2; 6,9 и 5,5% соответственно.

У летного состава с диагнозом хронический гастродуоденит по сравнению с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови отмечается достоверное ($p < 0,05$) увеличение содержания палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, лимфоцитов, моноцитов, холестерина ЛВП и холестерина ЛОНП на 9,1; 7,8; 7,7; 5,5; 7,9; 5,2 и 6,9% соответственно.

В периферической крови у летного состава с диагнозом других заболеваний при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» также наблюдается увеличение ($p < 0,05$) содержания палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, лимфоцитов, моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛВП, холестерина ЛОНП, триглицеридов и общего билирубина на 9,1; 5,8; 7,7; 8,5; 5,3; 5,5; 5,2; 6,9; 7,8 и 5,8% соответственно.

На третий месяц службы (табл. 2) у летного состава с диагнозом гипертоническая болезнь при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови наблюдается статистически значимое (при $p < 0,001$) повышение содержания эозинофилов, моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛНП, холестерина ЛОНП, триглицеридов и общего билирубина на 21,4; 20; 17,6; 18,2; 30; 20,9 и 23% соответственно и, при $p < 0,01$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, холестерина ЛВП, коэффициента атерогенности и глюкозы на 16,7; 13; 12; 11 и 14,1% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – лейкоцитов и лимфоцитов на 5,5; 7,7 и 7,1%.

У летного состава с диагнозом нейроциркуляторная дистония при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови наблюдается статистически значимое ($p < 0,001$) повышение содержания холестерина ЛНП, триглицеридов и общего билирубина на 18,3; 18,6 и 19,4% соответственно и, при $p < 0,01$, – палочкоядерных нейтрофилов, эозино-

филов, моноцитов, общего холестерина и холестерина ЛНП на 16,7; 14,3; 10; 11 и 13,9% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – лейкоцитов, сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов, моноцитов, холестерина липопротеидов высокой плотности, коэффициента атерогенности и глюкозы на 5,5; 9,8; 5,2; 10; 7,7; 9,1 и 5,9% соответственно.

У летного состава с диагнозом миокардиодистрофия и миокардиосклероз при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови отмечается достоверное ($p < 0,05$) увеличение содержания палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, холестерина ЛВП, холестерина ЛОНП и триглицеридов на 8,3; 6,8; 7,1; 5,1; 10 и 7,8% соответственно.

В периферической крови у летного состава с диагнозом хронический гастродуоденит при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» наблюдается повышение содержания сегментоядерных нейтрофилов и холестерина ЛНП на 6,0 и 6,7% ($p < 0,05$). В то же время у летного состава с диагнозом этих же заболеваний при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови понижено содержание палочкоядерных нейтрофилов и эозинофилов на 9,1 и 7,7%.

В периферической крови у летного состава с диагнозами других заболеваний при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» отмечается достоверное ($p < 0,05$) увеличение содержания палочкоядерных нейтрофилов, эозинофилов, холестерина ЛВП, холестерина ЛОНП и триглицеридов на 8,3; 7,1; 5,1; 8,3 и 8,5% соответственно.

На шестом месяце службы (табл. 3) у летного состава с диагнозом гипертоническая болезнь при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови наблюдается статистически значимое ($p < 0,001$) увеличение содержания эозинофилов, моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛНП, холестерина ЛОНП, триглицеридов и общего билирубина на 20; 21,4; 18; 18,6; 33,9; 23,1 и 19,8% соответственно и, при $p < 0,01$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, холестерина ЛВП, коэффициента атерогенности и глюкозы на 15,4; 13,5; 12,4; 11,6 и 14,6% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – лейкоцитов и лимфоцитов на 6,5 и 8,4%.

При нейроциркуляторной дистонии в периферической крови отмечается достоверно более высокое ($p < 0,001$) содержание холестерина ЛОНП и триглицеридов на 21 и 20% и, при $p < 0,01$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛНП и общего билирубина на 15,4; 10,2; 13,3; 11,9; 11,3; 14,4 и 16,3% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – лимфоцитов, холестерина ЛВП, коэффици-

Характеристики периферической крови у летного состава в конце 3-го месяца службы на Крайнем Севере

Показатель	Диагноз «Здоров»	Остеохондроз позвоночника	Хронический гастродуоденит	Миокардиодистрофия, миокардиосклероз	Нейроциркуляторная дистония	Гипертоническая болезнь	Другие заболевания
Гемоглобин, г/л	162 ± 0,35	163 ± 0,12	162 ± 0,43	163 ± 0,55	163 ± 0,17	164 ± 0,33	163 ± 0,14
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5,5 ± 0,63	5,6 ± 0,28	5,4 ± 0,67	5,7 ± 0,17	5,7 ± 0,28	5,8 ± 0,29*	5,6 ± 0,55
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	6,9 ± 0,42	7,06 ± 0,33	7,19 ± 0,31	7,24 ± 0,45	7,28 ± 0,15*	7,43 ± 0,61*	7,21 ± 0,17
Палочкоядерные нейтрофилы (П), ×10 ⁹ /л	0,12 ± 0,001	0,12 ± 0,002	0,11 ± 0,001*	0,13 ± 0,001*	0,14 ± 0,002**	0,14 ± 0,001**	0,13 ± 0,002*
Сегментоядерные нейтрофилы (С), ×10 ⁹ /л	3,69 ± 0,003	3,78 ± 0,005	3,91 ± 0,004*	3,94 ± 0,003*	4,05 ± 0,002*	4,17 ± 0,005**	3,85 ± 0,005
Эозинофилы, ×10 ⁹ /л	0,14 ± 0,002	0,14 ± 0,003	0,13 ± 0,002*	0,15 ± 0,002*	0,16 ± 0,001**	0,17 ± 0,003***	0,15 ± 0,003*
Лимфоциты, ×10 ⁹ /л	2,11 ± 0,05	2,15 ± 0,03	2,17 ± 0,06	2,2 ± 0,02	2,22 ± 0,05*	2,26 ± 0,03*	2,19 ± 0,02
Моноциты, ×10 ⁹ /л	0,4 ± 0,01	0,39 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,4 ± 0,02	0,44 ± 0,01**	0,48 ± 0,02***	0,41 ± 0,01
Соотношение П/С	0,033	0,032	0,028	0,033	0,035*	0,034	0,034
Общий белок, г/л	76 ± 3,0	76 ± 2,5	75 ± 3,5	76 ± 2,7	76 ± 2,3	76 ± 2,8	75 ± 2,3
Общий холестерин, ммоль/л	5,18 ± 0,12	5,27 ± 0,35	5,20 ± 0,34	5,24 ± 0,14	5,75 ± 0,12**	6,09 ± 0,21***	5,29 ± 0,17
Холестерин ЛВП, ммоль/л	1,17 ± 0,03	1,20 ± 0,02	1,22 ± 0,03	1,23 ± 0,01*	1,26 ± 0,03*	1,31 ± 0,01**	1,23 ± 0,03*
Холестерин ЛНП, ммоль/л	3,24 ± 0,05	3,28 ± 0,07	3,29 ± 0,03	3,36 ± 0,11	3,69 ± 0,12**	3,83 ± 0,09**	3,35 ± 0,08
Холестерин ЛОНП, ммоль/л	0,6 ± 0,01	0,62 ± 0,03	0,64 ± 0,05*	0,66 ± 0,02*	0,71 ± 0,03***	0,78 ± 0,02***	0,65 ± 0,04*
Триглицериды, ммоль/л	1,29 ± 0,05	1,32 ± 0,02	1,35 ± 0,10	1,39 ± 0,06*	1,53 ± 0,12***	1,56 ± 0,05***	1,4 ± 0,03*
Коэффициент атерогенности	3,53 ± 0,03	3,61 ± 0,07	3,59 ± 0,09	3,69 ± 0,11	3,85 ± 0,13*	3,92 ± 0,10**	3,63 ± 0,05
Общий билирубин, мкмоль/л	13,9 ± 0,2	14,2 ± 0,6	14,1 ± 0,4	14,4 ± 0,5	16,6 ± 0,3***	17,1 ± 0,4***	14,3 ± 0,7
Прямой билирубин, % от общего билирубина	24 ± 0,4	24 ± 0,5	24 ± 0,8	24 ± 0,9	25 ± 0,5	25 ± 0,7	24 ± 0,6
Глюкоза, ммоль/л	4,1 ± 0,11	4,19 ± 0,15	4,16 ± 0,14	4,17 ± 0,12	4,34 ± 0,11*	4,68 ± 0,23**	4,19 ± 0,13

Примечание: *, **, *** – см. табл. 1.

Табл. 3

Характеристики периферической крови у летного состава на 6-м месяце службы на Крайнем Севере

Показатель	Диагноз «Здоров»	Остеохондроз позвоночника	Хронический гастродуоденит	Миокардиодистрофия, миокардиосклероз	Нейроциркуляторная дистония	Гипертоническая болезнь	Другие заболевания
Гемоглобин, г/л	164 ± 0,24	165 ± 0,31	163 ± 0,14	165 ± 0,35	165 ± 0,57	165 ± 0,13	164 ± 0,25
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5,8 ± 0,36	5,9 ± 0,15	5,7 ± 0,46	5,8 ± 0,22	5,9 ± 0,35	5,9 ± 0,18	5,8 ± 0,43
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	7,05 ± 0,18	7,09 ± 0,26	7,25 ± 0,37	7,29 ± 0,52	7,36 ± 0,44	7,51 ± 0,65*	7,28 ± 0,27
Палочкоядерные нейтрофилы (П), ×10 ⁹ /л	0,13 ± 0,003	0,13 ± 0,004	0,12 ± 0,001*	0,14 ± 0,005*	0,15 ± 0,001**	0,15 ± 0,003**	0,14 ± 0,001*
Сегментоядерные нейтрофилы (С), ×10 ⁹ /л	3,71 ± 0,002	3,78 ± 0,003	3,85 ± 0,003	3,96 ± 0,001*	4,09 ± 0,003**	4,21 ± 0,005**	3,87 ± 0,002
Эозинофилы, ×10 ⁹ /л	0,15 ± 0,004	0,15 ± 0,003	0,14 ± 0,001*	0,16 ± 0,003*	0,17 ± 0,003**	0,18 ± 0,001***	0,16 ± 0,003*
Лимфоциты, ×10 ⁹ /л	2,14 ± 0,03	2,17 ± 0,05	2,19 ± 0,04	2,23 ± 0,01	2,27 ± 0,04*	2,32 ± 0,02*	2,21 ± 0,04
Моноциты, ×10 ⁹ /л	0,42 ± 0,05	0,41 ± 0,02	0,42 ± 0,03	0,44 ± 0,02	0,47 ± 0,04**	0,51 ± 0,01***	0,43 ± 0,03
Соотношение П/С	0,035	0,034	0,031	0,035	0,037*	0,036	0,036
Общий белок, г/л	75 ± 2,5	75 ± 2,7	76 ± 2,3	76 ± 3,4	76 ± 3,8	76 ± 4,1	75 ± 2,9
Общий холестерин, ммоль/л	5,22 ± 0,34	5,31 ± 0,23	5,28 ± 0,17	5,36 ± 0,45	5,81 ± 0,19**	6,16 ± 0,52***	5,33 ± 0,11
Холестерин ЛВП, ммоль/л	1,21 ± 0,02	1,24 ± 0,03	1,27 ± 0,01	1,28 ± 0,02*	1,31 ± 0,04*	1,36 ± 0,03**	1,26 ± 0,02
Холестерин ЛНП, ммоль/л	3,27 ± 0,04	3,33 ± 0,05	3,32 ± 0,07	3,41 ± 0,12	3,74 ± 0,10**	3,88 ± 0,11***	3,39 ± 0,05
Холестерин ЛОНП, ммоль/л	0,62 ± 0,01	0,65 ± 0,05	0,66 ± 0,03*	0,69 ± 0,02**	0,75 ± 0,01***	0,83 ± 0,04***	0,7 ± 0,02**
Триглицериды, ммоль/л	1,3 ± 0,03	1,34 ± 0,04	1,38 ± 0,07*	1,42 ± 0,05*	1,56 ± 0,11***	1,6 ± 0,03***	1,41 ± 0,01*
Коэффициент атерогенности	3,54 ± 0,01	3,63 ± 0,05	3,65 ± 0,04	3,71 ± 0,07	3,89 ± 0,12*	3,95 ± 0,14**	3,67 ± 0,03
Общий билирубин, мкмоль/л	14,1 ± 0,4	14,2 ± 0,2	14,1 ± 0,6	14,5 ± 0,3	16,4 ± 0,5**	16,9 ± 0,2***	14,3 ± 0,5
Прямой билирубин, % от общего билирубина	24 ± 0,5	24 ± 0,3	24 ± 0,7	24 ± 1,0	25 ± 0,4	25 ± 0,6	24 ± 0,5
Глюкоза, ммоль/л	4,11 ± 0,15	4,21 ± 0,12	4,18 ± 0,11	4,19 ± 0,14	4,37 ± 0,13*	4,71 ± 0,18**	4,22 ± 0,12

Примечание: *, **, *** – см. табл. 1.

ента атерогенности и глюкозы на 6,1; 8,3; 9,9 и 6,3% соответственно.

При миокардиодистрофии и миокардиосклерозе отмечается достоверно более высокое ($p < 0,01$) содержание холестерина ЛОНП на 11,3% и, при $p < 0,05$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, холестерина ЛВП и триглицеридов на 7,7; 6,7; 6,7; 5,8 и 9,2% соответственно.

При хроническом гастродуодените в периферической крови отмечается более высокое ($p < 0,05$) содержание холестерина ЛВП, холестерина ЛОНП и триглицеридов на 6,4 и 6,2% и понижение ($p < 0,05$) содержания палочкоядерных нейтрофилов и эозинофилов на 8,3 и 7,1%.

В периферической крови у летного состава с диагнозами других заболеваний при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» отмечается достоверное ($p < 0,01$) увеличение содержания холестерина ЛОНП на 12,9% и, при $p < 0,05$, – палочкоядерных нейтрофилов, эозинофилов и триглицеридов на 7,7; 6,7 и 8,5% соответственно.

К окончанию первого года службы (табл. 4) у летного состава с диагнозом гипертоническая болезнь при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови наблюдается статистически значимое ($p < 0,001$) увеличение содержания моноцитов, холестерина ЛНП, холестерина ЛОНП, триглицеридов и общего билирубина на 23,3; 18,4; 35,9; 26,5 и 19,6% соответственно и, при $p < 0,01$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, общего холестерина, холестерина ЛВП, коэффициента атерогенности и глюкозы на 15,4; 13; 13,3; 17,3; 13,7; 11 и 14,8% соответственно, а также, при $p < 0,05$ – лейкоцитов и лимфоцитов на 6,7 и 9,3%.

При нейроциркуляторной дистонии достоверно ($p < 0,001$) повышено содержание холестерина ЛОНП и триглицеридов на 21,9 и 20,5% и, при $p < 0,01$, – моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛНП и общего билирубина на 11,6; 10,9; 14,1 и 16,1% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, лимфоцитов, холестерина ЛВП, коэффициента атерогенности и глюкозы на 7,7; 9,5; 6,7; 6; 8,9; 9,8 и 6,3% соответственно.

При миокардиодистрофии и миокардиосклерозе в периферической крови достоверно ($p < 0,01$) повышено содержание холестерина ЛОНП на 12,5% и, при $p < 0,05$, – сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов, холестерина ЛВП и триглицеридов на 6,8; 7; 7,3 и 9,1%, соответственно.

При хроническом гастродуодените в периферической крови повышено ($p < 0,05$) содержание холестерина ЛВП, холестерина ЛОНП и триглицеридов на 6,5; 9,4 и 5,3% и в то же время понижено ($p < 0,05$)

содержание палочкоядерных нейтрофилов и эозинофилов на 8,3 и 7,1%.

В условиях полярной ночи (табл. 5) у летного состава с диагнозом гипертоническая болезнь при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови наблюдается статистически значимое ($p < 0,001$) увеличение содержания моноцитов, холестерина ЛНП, холестерина ЛОНП, триглицеридов и общего билирубина на 18,2; 18,6; 30,2; 24,4 и 18,3% соответственно, и, при $p < 0,01$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, лимфоцитов, общего холестерина, холестерина ЛВП, коэффициента атерогенности и глюкозы на 15,4; 13,8; 13,3; 10,7; 15; 14,9; 11,5 и 14,5% соответственно.

При нейроциркуляторной дистонии в крови достоверно ($p < 0,001$) повышено содержание холестерина ЛОНП и триглицеридов на 20,6 и 17,6% и, при $p < 0,01$, – моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛВП, холестерина ЛНП, коэффициента атерогенности и общего билирубина на 11,3; 10,1; 12,4; 14,3; 11 и 15,5% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов, лимфоцитов и глюкозы на 7,7; 9,7; 6,7; 7,9 и 6,1% соответственно.

При миокардиодистрофии и миокардиосклерозе в периферической крови достоверно ($p < 0,01$) повышено содержание холестерина ЛОНП на 12,7% и, при $p < 0,05$, – палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, холестерина ЛВП и триглицеридов на 7,6; 6,5; 9,1 и 7,6% соответственно.

При хроническом гастродуодените в периферической крови повышено ($p < 0,05$) содержание холестерина ЛВП и холестерина ЛОНП на 8,3 и 9,5%.

В периферической крови у летного состава с диагнозами других заболеваний отмечается достоверное ($p < 0,01$) увеличение содержания холестерина ЛОНП на 11,1% и, при $p < 0,05$, – холестерина ЛВП и триглицеридов на 7,4 и 7,6%.

В условиях полярного дня (табл. 6) у летного состава с диагнозом гипертоническая болезнь при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» в периферической крови наблюдается статистически значимое ($p < 0,001$) увеличение содержания холестерина ЛНП и триглицеридов на 23,8 и 21,5% и, при $p < 0,01$, – лейкоцитов, палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, моноцитов, общего холестерина, холестерина ЛВП, холестерина ЛНП, триглицеридов, коэффициента атерогенности и глюкозы на 11,3; 15,4; 12,1; 14; 12,6; 11,7; 15,4; 10,8; 15,8 и 11,2% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – эозинофилов и лимфоцитов на 6,7 и 7,4%.

При нейроциркуляторной дистонии в периферической крови достоверно ($p < 0,01$) повышено содер-

Характеристики периферической крови у летного состава, прослужившего на Крайнем Севере 12 месяцев

Показатель	Диагноз «Здоров»	Остеохондроз позвоночника	Хронический гастродуоденит	Миокардиодистрофия, миокардиосклероз	Нейроциркуляторная дистония	Гипертоническая болезнь	Другие заболевания
Гемоглобин, г/л	163 ± 0,38	165 ± 0,27	164 ± 0,44	164 ± 0,13	165 ± 0,25	165 ± 0,17	164 ± 0,52
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5,8 ± 0,53	5,8 ± 0,45	5,7 ± 0,24	5,8 ± 0,62	5,9 ± 0,18	5,9 ± 0,36	5,8 ± 0,65
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	7,06 ± 0,11	7,11 ± 0,32	7,18 ± 0,53	7,29 ± 0,15	7,37 ± 0,24	7,53 ± 0,16*	7,25 ± 0,23
Палочкоядерные нейтрофилы (П), ×10 ⁹ /л	0,13 ± 0,001	0,13 ± 0,002	0,12 ± 0,003*	0,13 ± 0,003	0,14 ± 0,002*	0,15 ± 0,001**	0,13 ± 0,003
Сегментоядерные нейтрофилы (С), ×10 ⁹ /л	3,69 ± 0,003	3,75 ± 0,001	3,83 ± 0,005	3,94 ± 0,002*	4,04 ± 0,005*	4,17 ± 0,003**	3,84 ± 0,001
Эозинофилы, ×10 ⁹ /л	0,15 ± 0,002	0,15 ± 0,005	0,14 ± 0,003*	0,15 ± 0,001	0,16 ± 0,002*	0,17 ± 0,003**	0,15 ± 0,002
Лимфоциты, ×10 ⁹ /л	2,15 ± 0,05	2,19 ± 0,03	2,18 ± 0,02	2,21 ± 0,03	2,28 ± 0,05*	2,35 ± 0,03*	2,22 ± 0,03
Моноциты, ×10 ⁹ /л	0,43 ± 0,01	0,44 ± 0,05	0,43 ± 0,03	0,46 ± 0,01*	0,48 ± 0,02**	0,53 ± 0,03***	0,44 ± 0,02
Соотношение П/С	0,035	0,035	0,031**	0,033*	0,035	0,036	0,034
Общий белок, г/л	75 ± 3,1	75 ± 2,9	75 ± 4,5	76 ± 2,8	76 ± 4,3	76 ± 3,7	75 ± 2,3
Общий холестерин, ммоль/л	5,31 ± 0,25	5,38 ± 0,14	5,35 ± 0,31	5,41 ± 0,52	5,89 ± 0,27**	6,23 ± 0,45**	5,39 ± 0,42
Холестерин ЛВП, ммоль/л	1,24 ± 0,04	1,27 ± 0,01	1,32 ± 0,03*	1,33 ± 0,02*	1,35 ± 0,02*	1,41 ± 0,03**	1,29 ± 0,01
Холестерин ЛНП, ммоль/л	3,32 ± 0,02	3,36 ± 0,03	3,37 ± 0,12	3,45 ± 0,09	3,79 ± 0,11**	3,93 ± 0,07***	3,41 ± 0,06
Холестерин ЛОНП, ммоль/л	0,64 ± 0,03	0,68 ± 0,04*	0,70 ± 0,01*	0,72 ± 0,02**	0,78 ± 0,03***	0,87 ± 0,02***	0,74 ± 0,03**
Триглицериды, ммоль/л	1,32 ± 0,01	1,35 ± 0,02	1,39 ± 0,05*	1,44 ± 0,03*	1,59 ± 0,07***	1,67 ± 0,03***	1,42 ± 0,02*
Коэффициент атерогенности	3,56 ± 0,02	3,65 ± 0,03	3,66 ± 0,04	3,73 ± 0,05	3,91 ± 0,12*	3,95 ± 0,14**	3,67 ± 0,03
Общий билирубин, мкмоль/л	14,3 ± 0,4	14,5 ± 0,5	14,3 ± 0,2	14,5 ± 0,2	16,6 ± 0,3**	17,1 ± 0,4***	14,5 ± 0,2
Прямой билирубин, % от общего билирубина	24 ± 0,7	24 ± 0,5	24 ± 0,9	24 ± 1,1	25 ± 0,6	25 ± 0,9	24 ± 0,8
Глюкоза, ммоль/л	4,13 ± 0,11	4,22 ± 0,14	4,19 ± 0,12	4,21 ± 0,15	4,39 ± 0,11*	4,74 ± 0,16**	4,21 ± 0,11

Примечание: *, **, *** – см. табл. 1

Характеристики периферической крови у летного состава в условиях полярной ночи, (М ± m)

Показатель	Диагноз «Здоров»	Остеохондроз позвоночника	Хронический гастродуоденит	Миокардиодистрофия, миокардиосклероз	Нейроциркуляторная дистония	Гипертоническая болезнь	Другие заболевания
Гемоглобин, г/л	163 ± 0,12	164 ± 0,35	164 ± 0,62	165 ± 0,14	165 ± 0,83	165 ± 0,92	164 ± 0,71
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5,7 ± 0,25	5,8 ± 0,43	5,7 ± 0,38	5,8 ± 0,67	5,9 ± 0,14	5,9 ± 0,73	5,7 ± 0,54
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	7,18 ± 0,32	7,24 ± 0,56	7,35 ± 0,43	7,45 ± 0,45	7,48 ± 0,62	7,56 ± 0,27	7,23 ± 0,83
Палочкоядерные нейтрофилы (П), ×10 ⁹ /л	0,13 ± 0,001	0,13 ± 0,002	0,13 ± 0,001	0,14 ± 0,001*	0,14 ± 0,003*	0,15 ± 0,002**	0,13 ± 0,001
Сегментоядерные нейтрофилы (С), ×10 ⁹ /л	3,7 ± 0,004	3,78 ± 0,003	3,82 ± 0,003	3,94 ± 0,004*	4,06 ± 0,005*	4,21 ± 0,003**	3,83 ± 0,003
Эозинофилы, ×10 ⁹ /л	0,15 ± 0,002	0,15 ± 0,003	0,15 ± 0,005	0,15 ± 0,002	0,16 ± 0,004*	0,17 ± 0,003**	0,15 ± 0,003
Лимфоциты, ×10 ⁹ /л	2,14 ± 0,02	2,18 ± 0,03	2,17 ± 0,04	2,22 ± 0,03	2,31 ± 0,02*	2,37 ± 0,04**	2,19 ± 0,03
Моноциты, ×10 ⁹ /л	0,44 ± 0,02	0,45 ± 0,01	0,44 ± 0,01	0,46 ± 0,02	0,49 ± 0,01**	0,52 ± 0,02***	0,45 ± 0,01
Соотношение П/С	0,035	0,036	0,033	0,034	0,035	0,036*	0,035
Общий белок, г/л	75 ± 2,7	75 ± 2,9	75 ± 3,6	76 ± 2,9	76 ± 3,5	76 ± 4,1	75 ± 2,1
Общий холестерин, ммоль/л	5,28 ± 0,07	5,36 ± 0,11	5,37 ± 0,05	5,44 ± 0,11	5,81 ± 0,09**	6,07 ± 0,05**	5,37 ± 0,12
Холестерин ЛВП, ммоль/л	1,21 ± 0,03	1,29 ± 0,01	1,31 ± 0,03*	1,32 ± 0,01*	1,36 ± 0,02**	1,39 ± 0,01**	1,3 ± 0,02*
Холестерин ЛНП, ммоль/л	3,28 ± 0,05	3,32 ± 0,07	3,35 ± 0,11	3,42 ± 0,09	3,75 ± 0,11**	3,89 ± 0,05***	3,34 ± 0,07
Холестерин ЛОНП, ммоль/л	0,63 ± 0,01	0,66 ± 0,04	0,69 ± 0,01*	0,71 ± 0,05**	0,76 ± 0,03***	0,82 ± 0,06***	0,7 ± 0,05**
Триглицериды, ммоль/л	1,31 ± 0,07	1,36 ± 0,08	1,37 ± 0,05	1,41 ± 0,03*	1,54 ± 0,09**	1,63 ± 0,08***	1,41 ± 0,03*
Коэффициент атерогенности	3,55 ± 0,11	3,63 ± 0,07	3,65 ± 0,14	3,69 ± 0,11	3,94 ± 0,11**	3,96 ± 0,09**	3,65 ± 0,12
Общий билирубин, мкмоль/л	14,2 ± 0,1	14,4 ± 0,6	14,3 ± 0,4	14,5 ± 0,2	16,4 ± 0,1**	16,8 ± 0,4***	14,5 ± 0,2
Прямой билирубин, % от общего билирубина	24 ± 0,6	24 ± 0,7	24 ± 0,8	24 ± 0,9	25 ± 0,3	25 ± 0,6	24 ± 0,9
Глюкоза, ммоль/л	4,13 ± 0,12	4,21 ± 0,15	4,19 ± 0,16	4,2 ± 0,18	4,38 ± 0,14*	4,73 ± 0,16**	4,19 ± 0,12

Примечание: *, **, *** – см. табл. 1.

Характеристики периферической крови у летного состава в условиях полярного дня

Показатель	Диагноз «Здоров»	Остеохондроз позвоночника	Хронический гастродуоденит	Миокардиодистрофия, миокардиосклероз	Нейроциркуляторная дистония	Гипертоническая болезнь	Другие заболевания
Гемоглобин, г/л	163 ± 0,14	164 ± 0,12	164 ± 0,36	164 ± 0,16	165 ± 0,42	165 ± 0,38	164 ± 0,47
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5,8 ± 0,37	5,8 ± 0,54	5,7 ± 0,48	5,8 ± 0,86	5,9 ± 0,2	5,9 ± 0,23	5,8 ± 0,61
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	6,64 ± 0,33	6,71 ± 0,48	6,74 ± 0,52	7,05 ± 0,61*	7,23 ± 0,21*	7,39 ± 0,35**	6,82 ± 0,34
Палочкоядерные нейтрофилы (П), ×10 ⁹ /л	0,13 ± 0,001	0,13 ± 0,001	0,13 ± 0,002	0,14 ± 0,001*	0,14 ± 0,002*	0,15 ± 0,001**	0,13 ± 0,002
Сегментоядерные нейтрофилы (С), ×10 ⁹ /л	3,64 ± 0,005	3,74 ± 0,002	3,79 ± 0,003	3,91 ± 0,005*	3,95 ± 0,003*	4,08 ± 0,002**	3,75 ± 0,005
Эозинофилы, ×10 ⁹ /л	0,15 ± 0,001	0,15 ± 0,002	0,15 ± 0,001	0,15 ± 0,001	0,16 ± 0,002*	0,16 ± 0,001**	0,15 ± 0,002
Лимфоциты, ×10 ⁹ /л	2,15 ± 0,03	2,16 ± 0,02	2,18 ± 0,01	2,09 ± 0,05	2,25 ± 0,03	2,31 ± 0,01*	2,18 ± 0,02
Моноциты, ×10 ⁹ /л	0,43 ± 0,01	0,44 ± 0,03	0,43 ± 0,03	0,44 ± 0,01	0,47 ± 0,03*	0,49 ± 0,01**	0,44 ± 0,02
Соотношение П/С	0,035	0,035	0,034	0,034	0,035	0,036	0,035
Общий белок, г/л	75 ± 2,9	75 ± 2,4	75 ± 3,1	75 ± 2,4	76 ± 2,7	76 ± 3,5	75 ± 2,6
Общий холестерин, ммоль/л	5,23 ± 0,17	5,33 ± 0,12	5,34 ± 0,23	5,38 ± 0,45	5,78 ± 0,18**	5,89 ± 0,14**	5,31 ± 0,34
Холестерин ЛВП, ммоль/л	1,2 ± 0,04	1,23 ± 0,02	1,26 ± 0,05*	1,29 ± 0,03*	1,34 ± 0,04**	1,34 ± 0,03**	1,25 ± 0,02
Холестерин ЛНП, ммоль/л	3,24 ± 0,03	3,28 ± 0,02	3,31 ± 0,08	3,38 ± 0,05	3,64 ± 0,07**	3,74 ± 0,05**	3,32 ± 0,03
Холестерин ЛОНП, ммоль/л	0,63 ± 0,04	0,64 ± 0,01	0,66 ± 0,02	0,69 ± 0,01*	0,73 ± 0,02**	0,78 ± 0,01***	0,68 ± 0,03*
Триглицериды, ммоль/л	1,3 ± 0,03	1,33 ± 0,04	1,35 ± 0,07	1,38 ± 0,05*	1,45 ± 0,06**	1,58 ± 0,05***	1,37 ± 0,04*
Коэффициент атерогенности	3,53 ± 0,08	3,58 ± 0,07	3,61 ± 0,11	3,63 ± 0,12	3,89 ± 0,14**	3,91 ± 0,11**	3,59 ± 0,08
Общий билирубин, мкмоль/л	13,9 ± 0,2	14,1 ± 0,3	14,2 ± 0,4	14,3 ± 0,6	15,8 ± 0,1**	16,1 ± 0,3**	14,2 ± 0,4
Прямой билирубин, % от общего билирубина	24 ± 0,7	24 ± 0,6	24 ± 0,8	24 ± 0,9	25 ± 0,1	25 ± 0,9	24 ± 0,9
Глюкоза, ммоль/л	4,11 ± 0,13	4,15 ± 0,12	4,17 ± 0,14	4,19 ± 0,15	4,23 ± 0,12	4,57 ± 0,14**	4,18 ± 0,11

Примечание: *, **, *** – см. табл. 1

жание общего холестерина, холестерина ЛВП, холестерина ЛНП, холестерина ЛОНП, триглицеридов, коэффициента атерогенности и общего билирубина на 10,5; 11,7; 12,3; 15,9; 11,5; 10,2 и 13,7% соответственно, а также, при $p < 0,05$, – лейкоцитов, палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, эозинофилов и моноцитов на 8,9; 7,7; 8,5; 6,7 и 9,3%, соответственно.

При миокардиодистрофии и миокардиосклерозе в периферической крови достоверно ($p < 0,05$) повышено содержание лейкоцитов, палочкоядерных нейтрофилов, сегментоядерных нейтрофилов, холестерина ЛВП, холестерина ЛОНП и триглицеридов на 6,2; 7,7; 7,4; 7,5; 9,5 и 6,2% соответственно.

В периферической крови у летного состава с диагнозами других заболеваний при сравнении с летным составом с диагнозом «Здоров» отмечается достоверное ($p < 0,05$) увеличение содержания холестерина ЛНП и триглицеридов на 7,9 и 5,4%.

Обсуждение

Из литературных источников известно, что самыми важными реакциями, обеспечивающими приспособление организма к изменившимся условиям существования, являются гомеостатические и биологические [7, 36]. Авторы считают, что сущность этих реакций сводится к тому, что всякое отклонение какой-нибудь жизненной функции от константного уровня приводит к срочной мобилизации гомеостатических и биологических механизмов, обеспечивающих продолжительность адаптации. Подтверждением этого факта являются результаты, полученные у летного состава в условиях Крайнего Севера (табл. 1–4).

Полученные данные согласуются с известными представлениями, что нервно-эмоциональное перенапряжение, профессиональные особенности военного труда, климатические и экологические факторы отрицательно влияют на механизмы адаптации и способствуют возникновению различных дезадаптационных состояний и болезней нарушенной адаптации [3, 28].

Выявленные изменения в периферической крови у военнослужащих с вышеуказанными заболеваниями могут свидетельствовать о нарушениях адаптационных возможностей, а также о компенсаторной реакции на нарушения периферической гемодинамики в организме военнослужащих с артериальной гипер-

тензией. Установлено, что адаптационные перестройки затрагивают практически все стороны жизнедеятельности человека и влияют на физиологические, биохимические и структурные изменения органов и систем. О продолжительности компенсаторной реакции организма свидетельствуют данные А.Н. Онищенко и Д.Л. Котляр [28], полученные при исследовании закономерностей адаптации летчиков ВМФ. Полученные результаты позволили авторам определить три стадии военно-профессиональной адаптации. Первая стадия – начальная, по данным этих авторов, проявляется в течение первого года профессиональной деятельности и характеризуется напряжением механизмов адаптации, в период начальной стадии наблюдаются статистически достоверные различия характеристик функционального состояния организма молодых и опытных летчиков.

Заключение

Воздействие экстремальных климатических и экологических факторов приводит к срочной мобилизации гомеостатических и биологических механизмов, и тем самым обеспечивается адаптация летного состава в новых условиях профессиональной деятельности. Установлено, что у летного состава с диагнозом тех или иных сердечно-сосудистых заболеваний приспособление к летному труду в условиях Крайнего Севера, особенно в начале службы, характеризуется дестабилизацией физиологических функций. В течение года, особенно в условиях полярной ночи, у этой категории летного состава по сравнению с летным составом, признанным здоровым, выявлены статистически значимые изменения в периферической крови, которые могут свидетельствовать о нарушениях адаптационных возможностей, а также о компенсаторной реакции периферической гемодинамики организма на начальные стадии артериальной гипертензии, тогда как у клинически здоровых летчиков адаптация протекает адекватно. Динамика показателей периферической крови отражает механизмы приспособления человека к летному труду в экстремальных условиях Крайнего Севера.

Практический вывод: требуется более строгий подход к определению профессиональных противопоказаний, к летному труду в условиях Крайнего Севера может быть допущен только клинически здоровый летный состав.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Авцын АП, Жаворонков АА, Марачев АГ, Милованов АП. Патология человека на Севере. М.: Медицина; 1985.
2. Агаджанян НА, Хрущев ВЛ. Адаптация человека к условиям Арктического Заполярья. М.: Изд-во РУДН; 1994.

3. Агапов ИВ. Психофизиологические аспекты военно-профессиональной адаптации летчиков. СПб.: Военно-медицинский музей; 2001.
4. Азаров ИИ, Бутаков СС, Жолус БИ, Зеткин АЮ, Реммер ВН. Опыт сохранения здоровья военнослужащих в Арктике в повседневной деятельности и чрезвычайных ситуациях. Морская медицина. 2017;3(3):102-11.
5. Белощенко ДВ, Башкатова ЮВ, Филатова ДЮ, Мороз ОА. Параметры сердечно-сосудистой системы в условиях влияния различных внешних воздействий. Вестник новых медицинских технологий. 2017;24(2):37-43.
6. Бирюков ДА. О некоторых насущных вопросах экологической физиологии и нервной деятельности. Журнал экологии, биологии и физиологии. 1967;5(3):444-52.
7. Бобровницкий ИП, Пономаренко ВА. Антропозоологические аспекты профессионального здоровья и некоторые биохимические подходы к проблеме его оценки у лиц опасных профессий. Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1991;25(2):31-6.
8. Бойко ИМ, Мосягин ИГ. Психофизиологическая безопасность полетов на Европейском Севере России. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета; 2011.
9. Войтенко АМ, Баландин ВС, Кит ВА. Характеристика, диагностика и формирование профессионально важных качеств. В кн.: Теория и практика управления образованием и учебным процессом: педагогические, социальные и психологические проблемы. СПб.: Балтийская педагогическая академия; 2009. с. 136-41.
10. Вязицкий ПО, Дьяконов ММ, Ендальцев БВ. Адаптация молодого воина к условиям воинской службы и профилактика дизадаптационных расстройств. М.: М-во обороны СССР; 1990.
11. Губин ВА, Лыткин ВМ. Медицинские и социально-психологические основы адаптации военнослужащих к профессиональной деятельности. Обзор психиатрии и медицинской психологии имени В.М. Бехтерева. 1993;(3):34-45.
12. Донченко ВГ, Бучнов АД, Лупанов АИ. Научно-методические и организационные аспекты психофизиологического сопровождения военной службы на флоте. Военно-медицинский журнал. 2001;322(6):14-22.
13. Дыбин АС, Меньшикова ЛИ, Шаповалов ПЮ. Оценка качества жизни военнослужащих, проходящих службу по контракту в Арктической зоне. Социальные аспекты здоровья населения. 2018;64(6).
14. Загородников ГГ, Боченков АА. Оценка гемодинамических показателей при воздействии на организм летного состава экстремальных климатогеографических факторов в период адаптации к условиям Крайнего Севера. WWW.MEDLINE.RU. 2010;11:482-93.
15. Загородников ГГ, Боченков АА. Оценка морфологических характеристик периферической крови в диагностике дизадаптационных расстройств у летного состава, прослужившего в условиях Крайнего Севера от трех до шести месяцев. WWW.MEDLINE.RU. 2011;12:1320-8.
16. Загородников ГГ, Уховский ДМ. Военно-профессиональная адаптация военнослужащих в условиях Крайнего Севера. СПб.: ВМедА; 2013.
17. Зайчик АШ, Чурилов ЛП. Механизмы развития болезней и синдромов. СПб.: Элби-СПб; 2005.
18. Зуева ОМ, Малахова ЮИ. Возрастные и сезонные характеристики показателей гипоталамо-тиреоидной, липидтранспортной и иммунной систем у здоровых мужчин. Омский научный вестник. 2012;2(114):113-7.
19. Казначеев ВП, Казначеев СВ, Маянский ДН, Шорин ЮП, Лепеллеуото Ю, Ким ЛБ, Колосова НГ, Куликов ВЮ, Панин ЛЕ, Давиденко ВИ, Дайерберг ЯД, Банг ХО, Форсиус Г, Лангх ВВ, Грин А, Нильсон НХ, Хансен Я, Вакс-Хоккерт О, Форсиус Г, Соколов ВП. Клинические аспекты полярной медицины. М.: Медицина; 1986.
20. Кантур ВА. Состояние функциональных систем организма летчиков морской авиации. Бюлл физиол патол дыхания, 2006;(S22),74-6.
21. Климов АН, Деев АД, Шестов ДБ, Вильямс ОД. Оценка липидных показателей и индексов при ишемической болезни сердца. Кардиология. 1983;(10):82.
22. Козлов АВ, Гутман СС, Зайченко ИМ. Программа развития Арктической зоны Российской Федерации на основе комплекса региональных индикаторов. Вестник Забайкальского государственного университета. 2014;(11):110-20.
23. Корчагин ИВ, Кайсин АС. Влияние экстремальных факторов Крайнего Севера на адаптационный потенциал военнослужащих арктических бригад. Экстремальная деятельность человека. 2016;1(38):40-3.
24. Костин КК, Марков АВ. Освоение Арктики в интересах обеспечения военной безопасности России. Военная мысль. 2017;(11):70-4.
25. Кубасов РВ. Гормональные изменения в ответ на экстремальные воздействия внешней среды. Вестник РАМН. 2014;9-10:102-9.
26. Лабори А. Регуляция обменных процессов. Теретический, экспериментальный, фармаколо-

- гический и терапевтический аспекты. М.: Медицина; 1970.
27. Меерсон ФЗ. Адаптация к периодической гипоксии в терапии и профилактике. М.: Наука; 1989.
 28. Онищенко АН, Котляр ДЛ. Изучение военно-профессиональной адаптации летчиков ВМФ. СПб.: Вестник Российской Военно-медицинской академии; 2007.
 29. Погодин ЮИ, Боченков АА, Загородников ГГ. Повышение устойчивости организма летного состава к действию экстремальных факторов Крайнего Севера. Жизнь без опасностей. Здоровье. Профилактика. Долголетие. 2011;6(1):136-43.
 30. Рощевский МП. Адаптация и резистентность организма на Севере: Физиолого-биохимические механизмы. Сыктывкар: Коми науч. центр УрО АН СССР; 1990.
 31. Селье Г. Очерки об адапционном синдроме. М.: Медгиз; 1960.
 32. Солодков АС, Юсупов ВВ, Чернега ИМ, Дорофеев ИИ, Ятманов АН. Особенности военно-профессиональной адаптации военнослужащих первого года службы. Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2015;9(127):241-6.
 33. Чурилов ЛП. Анри Лабори и метаболическая логистика стресса. Здоровье – основа человеческого потенциала. Проблемы и пути их решения. 2014;9(1):161-9.
 34. Чурилов ЛП. Общая патофизиология с основами иммунопатологии. СПб.: Элби-СПб; 2015.
 35. Чурилов ЮК, Моисеев ЮБ, Ричей ИИ. Состояние иммунологической реактивности в процессе профессиональной адаптации летного состава. Военно-медицинский журнал. 2019;340(4):42-6.
- Общий список литературы/Reference List**
1. Avtsyn AP, Zhavoronkov AA, Marachev AG, Milovanov AP. Patologiya Cheloveka na Severe. Moscow: Meditsina; 1985. (In Russ.)
 2. Agadzhanyan NA, Khrushchev VL. Adaptatsiya Cheloveka k Usloviyam Arkticheskogo Zapolyarya. Moscow: RUDN; 1994. (In Russ.)
 3. Agapov IV. Psikhofiziologicheskiye Aspekty Voyenno-Professionalnoy Adaptatsii Letchikov. Saint Petersburg: Voyenno Meditsinskiy Muzei; 2001. (In Russ.)
 4. Azarov II, Butakov SS, Zholus BI, Zetkin AY, Remmer VN. [Experience of health maintenance of the military personnel in the Arctic in the daily activities and emergency]. Morskaya Meditsyna. 2017;3(3):102-11. (In Russ.)
 5. Beloshchenko DV, Bashkatova YuV, Filatova DYU, Moroz OA. [The parameters of cardio-vascular system in conditions of external influences]. Vestnik Novykh Meditsynskikh Tekhnologiy. 2017;24(2):7-43. (In Russ.)
 6. Biryukov DA. [On some pressing issues of environmental physiology and nervous activity]. Zhurnal Ekologii Biologii i Fiziologii. 1967;5(3):444-52. (In Russ.)
 7. Bobrovniksky IP, Ponomarenko VA. [Anthropoecological aspects of professional health and some biochemical approaches to the problem of its assessment in persons of dangerous professions]. Kosmicheskaya Biologiya i Aviakosmicheskaya Meditsyna. 1991;25(2):31-6. (In Russ.)
 8. Boyko IM, Mosyagin IG. Psikhofiziologicheskaya Bezopasnost Poliotov na Yevropeyskom Severe Rossii. [Psychophysiological Safety of Flights in the European North of Russia]. Arkhangel'sk: SGMU; 2011. (In Russ.)
 9. Voytenko AM, Balandin VS, Kit VA. [Characteristics, diagnostics, and fostering of professionally important qualities]. In: Teoriya i Praktika Upravleniya Obrazovaniyem i Uchebnym Protsessom: Pedagogicheskiye, Sotsial'nyye i Psikhologicheskiye Problemy. Saint Petersburg: Baltiyskaya Pedagogicheskaya Akademiya; 2009. p. 136-41. (In Russ.)
 10. Vyazitskiy PO, Dyakonov MM, Yendaltsev BV. Adaptatsiya Molodogo Voinka k Usloviyam Voinskoj Sluzhby i Profilaktika Dizadaptatsionnykh Rasstroystv. Moscow: Ministerstvo Oborony; 1990. (In Russ.)
 11. Gubin VA, Lytkin VM. [Medical and socio-psychological bases of adaptation of military personnel to professional activities]. Obozreniye Psikhiiatrii i Meditsinskoy Psikhologii Imeni V.M. Bekhtereva. 1993;(3):34-45. (In Russ.)
 12. Donchenko VG, Buchnov AD, Lupanov AI. [Scientific, methodological, and organizational aspects of psychophysiological maintenance of service in navy]. Voyenno-Meditsinskiy Zhurnal. 2001;322(6):14-22. (In Russ.)
 13. Dybin AS, Menshikova LI, Shapovalov PYU. [Assessing life quality of contract servicemen in the Arctic zone]. Sotsialnye Aspekty Zdorovya Naselenia. 2018;64(6). (In Russ.)
 14. Zagorodnikov GG, Bochenkov AA. [Assessment of the hemodynamic parameters upon the impact of extreme climatic and geographic factors on pilots during their adaptation to Far North conditions]. WWW.MEDLINE.RU. 2010;11:482-93. (In Russ.)
 15. Zagorodnikov GG, Bochenkov AA. [Assessment of the morphological characteristics of peripheral blood in the diagnostics of adaptation disorders among pilots in service under Far North conditions

- for three to six months]. WWW.MEDLINE.RU. 2011;12:1320-8. (In Russ.)
16. Zagorodnikov GG, Ukhovskiy DM. Voenno-Professionalnaya Adaptatsiya Voenno-sluzhashchikh v Usloviyakh Kraynego Severa. Saint Petersburg: VMedA; 2013. (In Russ.)
 17. Zaychik ASH, Churilov LP. Mekhanizmy Razvitiya Bolezney i Sindromov. Saint Petersburg: ElBi-SPb; 2005.
 18. Zuyeva OM, Malakhova YUI. [Age- and season-dependent characteristics of the pituitary, thyroid, lipid-transporting and immune systems in healthy men]. Omskiy Nauchnyy Vestnik. 2012;2(114):113-7. (In Russ.)
 19. Kaznachev VP, Kaznachev SV, Mayanskiy DN, Shorin YuP, Lepelleuoto Yu, Kim LB, Kolosova NG, Kulikov VYu, Panin LE, Davidenko VI, Dayyberg YaD, Bang HO, Forsius G, Lantukh VV, Grin A, Nilson NH, Khansen Ya, Vask-Khokkert O, Forsius G, Sokolov VP. Klinicheskiye Aspekty Polyarnoy Meditsiny. Moscow: Meditsina; 1986. (In Russ.)
 20. Kantur VA. [The condition of the functional systems of marine air force pilots]. Biulleten Fiziologii i Patologii Dykhaniya, 2006;(S22),74-6. (In Russ.)
 21. Klimov AN, Deyev AD, Shestov DB, Vil'yams OD. [Assessment of lipid parameters and indices upon ischemic heart disease]. Kardiologiya. 1983;(10):82. (In Russ.)
 22. Kozlov AV, Gutman SS, Zaychenko IM. [A program of development of the Arctic zone of the Russian Federation based on a complex of regional indicators]. Vestnik Zabaykalskogo Gosudarstvennogo Universiteta. 2014;(11):110-20. (In Russ.)
 23. Korchagin IV, Kaisin AS. [The impact of extreme factors of the Far North on the adaptive capacity of arctic military teams]. Ekstremalnaya Deyatel'nost' Cheloveka. 2016;1(38):40-3. (In Russ.)
 24. Kostin KK, Markov AV. [Management of the Arctic for the sake of the military safety of Russia]. Voen'naya Mysl. 2017;(11):70-4. (In Russ.)
 25. Kubasov RV. [Hormonal changes in response to extreme environment factors]. Vestnik Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk. 2014;(9-10):102-9. (In Russ.)
 26. Labori A. Regulyatsiya Obmennykh Protsesov. Teoreticheskiy, Eksperimentalniy, Farmakologicheskii i Terapevticheskiy Aspekty. Moscow: Meditsina; 1970. (In Russ.)
 27. Meyerson FZ. Adaptatsiya k Periodicheskoy Gipoksii v Terapii i Profilaktike. Moscow: Nauka; 1989. (In Russ.)
 28. Onishchenko AN, Kotlyar DL. Izucheniye Voenno-Professionalnoy Adaptatsii Liotchikov VMF. Saint Petersburg: Vestnik Rossiyskoy Voenno-Meditsinskoy Akademii; 2007. (In Russ.)
 29. Pogodin YuI, Bochenkov AA, Zagorodnikov GG. [Enhancing the resistance of pilots to the extreme factors of Far North]. Zhizn bez Opasnostey Zdorov'ye Profilaktika Dolgoletiy. 2011;6(1):136-43. (In Russ.)
 30. Roshchevskiy MP. Adaptatsiya i Rezistentnost Organizma na Severe: Fiziologo-Biokhimicheskiye Mekhanizmy. Syktyvkar: Komi nauchyi Tsentri UrO AN SSSR; 1990. (In Russ.)
 31. Selye G. Ocherki ob Adaptatsionnom Sindrome. Moscow: Medgiz; 1960. (In Russ.)
 32. Solodkov AS, Yusupov VV, Chernega IM, Dorofeyev II, Yatmanov AN. [Specific features of professional adaptation of military men during the first year of service]. Uchenye Zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta. 2015;9(127):241-6. (In Russ.)
 33. Churilov LP. [Henri Laborit and the metabolic logistics of stress]. Zdorov'ye Osнова Chelovecheskogo Potentsiala Problemy i Puti Ikh Resheniya. 2014;9(1):161-9. (In Russ.)
 34. Churilov LP. Obshchaya Patofiziologiya s Osnovami Immunopatologii. Saint Petersburg: Elbi-SPb; 2015. (In Russ.)
 35. Churilov YuK, Moiseyev YuB, Richey II. [The condition of immunological reactivity in the course of professional adaptation of military pilots]. Voenno-Meditsinskiy Zhurnal. 2019;340(4):42-6. (In Russ.)
 36. Cerdonio M, Congiu-Castellano A, Calabrese L, Morante S, Pispisa B, Vitale S. Room-temperature magnetic properties of oxy- and carbonomonooxyhemoglobin. Proc Natl Acad Sci USA. 1978;75(10):4916-9.
 37. Churilov L, Korovin A, Shevchenko V. Far North. Adaptation disorders: management and prevention. Pathophysiology. 2018;25(3):207.
 38. Giesbrecht GG. The respiratory system in a cold environment. Aviat Space Environ Med. 1995;66(9):890-902.
 39. Gustavson E, Levitt C. Physical abuse with severe hypothermia. Arch Pediatr Adolesc Med. 1996;150(1):111-2.
 40. Serikov VV, At'kov OYu, Rubtsov MYu. World ocean flight around the North Pole: Effects to pilots' psychophysiological state. II International Scientific-Practical Conference «Psychology of Extreme Professions» (ISPCPEP 2019). Advances in Social Science, Education and Humanities Research, 321:184-6.
 41. Shinozaki K, Yamaguchi-Shinozaki K. Molecular responses to drought and cold stress. Curr Opin Biotechnol. 1996;7(2):161-7.

Н.И. ВАВИЛОВ КАК ОРГАНИЗАТОР НАУКИ

Э.В. Трускинов

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),
Санкт-Петербург, Россия

Эл. почта: truskinov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 11.12.2019; принята к печати 15.01.2020

Статья освещает деятельность Н.И. Вавилова как выдающегося организатора науки, которая осуществлялась в трудных условиях преобразования сельского хозяйства СССР. Период его научно-организационной работы составляет 20 лет (1920–1940 гг.), из них наиболее продуктивно она проходила первую половину этого срока. Снижение ее практической отдачи на руководящих постах сельскохозяйственной науки связано с социально-политическими, репрессивными коллизиями в стране и столкновениями разных научных и не научных концепций в понимании основ генетики и ее роли в продвижении аграрного производства. Несмотря на это, историческое значение организационного вклада Н.И. Вавилова в науку непреходяще. Именно поэтому оба организованных им института: Всесоюзный институт растениеводства (ВИР) – ныне Всероссийский институт генетических ресурсов растений и Институт общей генетики (ИОГЕН), носят его имя.

Ключевые слова: Н.И. Вавилов, сельскохозяйственная наука, Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина (ВАСХНИЛ), Всесоюзный институт растениеводства (ВИР), Институт общей генетики (ИОГЕН).

N.I. VAVILOV AS AN ORGANIZER OF SCIENCE

E.V. Truskinov

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Genetic Resources of Plants, Saint-Petersburg, Russia

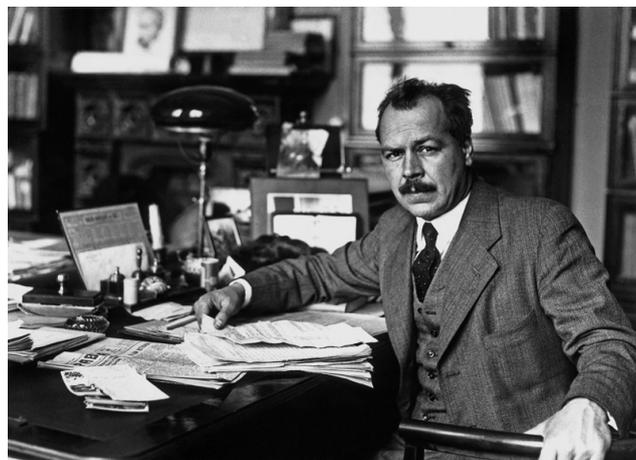
E-mail: truskinov@yandex.ru

The article highlights the activities of N.I. Vavilov as an outstanding organizer of science in the hard times of transformation of agriculture in the USSR. The period of his scientific and organizational work spans 20 years (1920-1940), of which the first decade was the most productive. The decrease in the practical impact of his work is associated with socio-political and repressive conflicts in the USSR and with clashes of different scientific and non-scientific concepts related to understanding the basics of genetics and its role in promoting agricultural production. Despite this, the historical significance of N.I. Vavilov's organizational contribution to science is not transient as reflected by the fact that both institutes organized by him, i.e. All-Soviet Institute of Plant Breeding (currently, All-Russian Institute of Genetic Resources of Plants) and Institute of General Genetics, bear his name.

Keywords: N.I. Vavilov, agricultural science, VASHNIL, All-Russian Institute of Genetic Resources of Plants, Institute of General Genetics.

Обширная литература о Николае Ивановиче Вавилове в основном посвящена его деятельности как выдающегося ученого в области ботаники, генетики, географии, освещает его как великого подвижника науки и гражданина, замечательного научного руководителя и человека, но меньше характеризует его как талантливого организатора научных учреждений и центров, не всегда дает должную оценку ему в данном качестве на разных этапах этой его титанической, можно сказать, работы. Между тем вопрос этот не лишен важности и интереса не только в плане истории науки, но и в отношении современного ее развития, всех ее нынешних деструктивных и реконструктивных моментов.

Сам период его научно-организационной деятельности составил 20 лет. В 1920 г. он после смерти Р.Э. Регеля



Н.И. Вавилов (1887–1943)

заступил на заведование Отделом по прикладной ботанике Сельскохозяйственного ученого комитета (СХУК). До ареста в августе 1940 г. он был вице-президентом Всероссийской академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина и директором двух институтов: Всесоюзного института растениеводства (ВИР) и Института генетики АН СССР (ИОГЕН)

Очевидно, наиболее впечатляющим и серьезным первым организационным преобразованием вверенного ему учреждения был перевод его из скромных квартирных помещений на Васильевском острове (2-я линия, д. 61) в величественное здание на Исаакиевской площади (д. 44), принадлежавшее бывшему Министерству земледелия и госимуществ. В дальнейшем организованный под его руководством в 1925 г. Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур (ВИПБиНК, с 1930 г. – ВИР) займет также помещения в Строгановском дворце на Невском проспекте. Сразу же с переездом в Петроград Н.И. Вавилов приложил огромные усилия по созданию экспериментальной базы в Детском Селе (бывшее Царское Село). Этому способствовало образование там Агрономического института, куда Вавилов был приглашен для преподавания генетики и селекции, кафедру которой основал и возглавил. Организация Центральной опытной селекционной и генетической станции была сопряжена с большими трудностями как объективного характера, связанного с условиями разрухи, так и субъективными моментами, отраженными в меморандуме заведующего кафедры генетики Н.И. Вавилова ректору Агрономического института с требованием изменить отношение к генетической станции [5, с. 128–130]. Станцию пришлось буквально завоевывать, и победителем оказался ее создатель – Н.И. Вавилов. В мае 1922 г. ее статус был официально подтвержден соответствующим договором [8]. В дальнейшем сеть опытных станций была значительно расширена. Если при Р.Э. Регеле их было не более трех [10], то во времена Н.И. Вавилова их насчитывалось уже около десятка [3]. Н.И. Вавилов принимал активное участие в создании всех их и регулярно их посещал. Они охватывали основные центральные и крайние природные зоны СССР и во многом способствовали осуществлению глобального Вавиловского плана географических посевов. Нынешние проекты эколого-географического испытания ряда культур в стране (ЭГИ) являются фактически продолжением той работы на современном этапе сельскохозяйственных исследований.

Созданию института ВИПБиНК (ВИР) предшествовало вхождение возглавляемого Н.И. Вавиловым отдела в Государственный институт опытной агрономии (ГИОА), созданный в 1922 г. на базе Сельскохозяйственного ученого комитета Наркомата земледелия РСФСР. Он стал прообразом будущей Всесоюзной сельскохозяйственной академии (ВАСХНИЛ), со-

зданной в 1929 г., и включал целый ряд научных отделов, выделившихся в дальнейшем в институты. Одним из первых был среди них ВИПБиНК. Директором ГИОА был избран Н.И. Вавилов, возглавлявший также Отдел прикладной ботаники и селекции (ОПБиС). Фактически уже на этом этапе своей служебной лестницы Н.И. Вавилов становится пока еще формальным, но уже лидером аграрной науки Советского Союза. Это подтверждается и в 1929 г. избранием его первым президентом ВАСХНИЛ, когда его научный авторитет сильно возрос с проведением чрезвычайно успешных визитов и экспедиций в США (1921 г.), Афганистан (1924 г.), страны Средиземноморья (1926–1927 гг.). Во время посещения США было организовано Нью-Йоркское отделение Отдела прикладной ботаники и селекции во главе с Д.Н. Бородиным [9].

Не следует, однако, думать, что совмещение столь ответственных постов было для Вавилова таким уж благом, доставалось ему легко. Длительные научные экспедиции сильно осложняли ему исполнение серьезных должностных обязанностей. И тут многое зависело от тех, кто замещал его на директорском посту, от лиц, не довольных заведенным порядком работы или своим положением в институте. В 1927 г. Вавилов вынужден был подать в отставку из-за конфликта, возникшего с амбициозным зам. директора Д.Д. Арцыбашевым. В большом письме к правительственному куратору института Н.П. Горбунову, исполнявшему также обязанности председателя Совета ВИПБиНК, он пишет, отвергая разные обвинения «некоторых оппонентов» в академизме: «Вся та теоретическая работа, которая ведется мной, и даже теоретические обобщения, к которым мне пришлось подойти в результате работы с культурными растениями, имеет определенный прикладной характер уже потому, что направлены на изучение культурных растений... Экспедиции института во все части земного шара я считаю гордостью, а не академической прихотью и не сомневаюсь, что в истории агрономических исследований они будут поставлены нашему учреждению на плюс, а не на минус». При этом он заявляет, что «никогда не стремился к административным достижениям», что «готов остаться в институте в скромной роли ученого специалиста, самое большое заведующим Отделом полевых культур, но вообще без всякой претензии на заведование» [4, с. 306–310]. В руководящий орган института он предлагает ввести В.Е. Писарева, В.В. Таланова, А.Д. Лебедева, Л.И. Говорова, Н.Н. Иванова, П.М. Жуковского, лучших специалистов в своей области. Писарев и Таланов собственно уже были назначены заместителями Вавилова при образовании Совета ВИПБиНК, который был представлен 20 июля 1925 г. в Кремле, в зале заседаний Совнаркома РСФСР на торжественном заседании. Арцыбашев был назначен зам. директора уже самим

Горбуновым в отсутствие и, видимо, без согласования с Вавиловым. Тем не менее, просьба его об отставке была отклонена Горбуновым, с которым у Вавилова были нормальные отношения. Определенное значение имело и коллективное обращение многих сотрудников в защиту своего руководителя.

При оценке деятельности Н.И. Вавилова на высоких должностных постах следует различать административную и собственно организационную ее части. Как администратор он, по-видимому, действительно тяготился рутинной стороной этой работы и во многом полагался на своих заместителей и помощников, подбирая, пока это ему позволялось, людей, способных к такому роду деятельности, и единомышленников по выработке стратегических научных планов. Как организатор он понимал, что для осуществления этих планов требуются глубокое их обоснование и широкое продвижение, привлечение многих научных сил и центров. Необходимо было заинтересовать и убедить центральную власть в правильности своей стратегии привлечения всего мирового генофонда растительных ресурсов в страну, во вверенный ему институт. Посты президента ВАСХНИЛ (1929–1935 гг.), члена ЦИК СССР (1926–1935 гг.), члена коллегии Наркомата земледелия СССР позволяли ему на протяжении ряда лет это делать. Однако уже в 1933 г., вернувшись из длительной поездки в США и страны Южной Америки, Н.И. Вавилов не застаёт некоторых своих самых ценных помощников и сотрудников, в том числе В.Е. Писарева, В.В. Таланова, Г.А. Левитского, Н.А. Максимова. Первые два были его заместителями и руководителями, Писарев – Центральной селекционно-генетической станцией в Детском Селе, Таланов – Московским отделением института. Все были арестованы по делу о причастности к вымышленной Трудовой крестьянской партии и «контрреволюционной эсеровско-народнической ячейки в ВИРе» [2].

К этому времени в органах НКВД начало распухать досье на самого Вавилова, которому было отпущено уже не так много времени на продолжение плодотворной работы в качестве научного лидера и организатора сельскохозяйственной науки в стране. Уже в 1935 г. он был освобожден от должности президента ВАСХНИЛ, но оставлен на посту вице-президента, до этого был выведен из состава ЦИК СССР. Еще в июле 1934 г. Совнарком СССР признал работу ВАСХНИЛ неудовлетворительной. Было отменено празднование 10-летия института и 25-летия научной деятельности его директора – Н.И. Вавилова. Праздновать было действительно не ко времени и не к месту ввиду тягостного положения, сложившегося в стране с сельским хозяйством после коллективизации, и разразившегося голода или голодомора, как некоторые считают, в самых хлебоборных регионах страны. Власти было на кого все это свалить. Назначен-

ный на место президента ВАСХНИЛ А.И. Муралов уже в 1937 г. был отстранен и арестован. Следующей жертвой стал Г.К. Мейстер, исполнявший эту обязанность два месяца и также арестованный. На пять месяцев (1937–1938 гг.) должность эта была возложена опять на Н.И. Вавилова. 11 февраля 1938 г. на это столь теперь опасное место назначается Т.Д. Лысенко, вице-президентом остается Н.И. Вавилов, и вновь назначен на этот пост Н.В. Цицин [2]. Таким образом превращенная в «гнездо врагов народа» академия обретает, наконец, руководителя, достойного доверия власти и лично Сталина – «главного ученого агронома» страны, теперь уже на много лет. Роль Н.И. Вавилова после этого как организатора науки сводится фактически на нет. Оценка реального, а не номинального срока руководства Н.И. Вавиловым ВАСХНИЛ и вообще сельскохозяйственной наукой не превысит 5–6 лет, если считать за исходный 1929 г. и переломный 1935 г., когда он становится не выездным за границу и теряет ключевые посты в академии и органах государственной власти. Не стало там и влиятельного правительственного куратора института Н.П. Горбунова, также арестованного. После убийства С.М. Кирова власть провела глобальную массовую зачистку, в первую очередь в высших своих эшелонах.

С этого времени сильно осложняется положение Н.И. Вавилова и в его институте в связи с проникновением туда людей Лысенко и его взглядов на науку. Особенно эти настроения проявлялись среди молодежи с присоединением к ВИРу Института аспирантуры. Немаловажную роль, видимо, сыграло и посещение блестящих по форме, но пустопорожних по содержанию идейно-политических выступлений Презента – главного идеолога Лысенко и врага Вавиловского института, где он какое-то время работал. Именно ему приписывается выражение «Вавилон должен быть разрушен», имея в виду возглавляемый Вавиловым ВИР. Немалая доля ответственности за такое положение лежит, очевидно, и на самом директоре. Н.И. Вавилов на первых порах головокружительной карьеры Лысенко много сделал для продвижения и пропаганды его обнадеживающих опытов по яровизации, способствовал его внедрению в академическую науку, приглашал посещать институт для консультаций сотрудников. Все это плохо сказывалось на моральном и рабочем климате в институте, некоторые ведущие его сотрудники вынуждены были подать заявления об уходе. Примиренческая позиция Вавилова с прояснением истинного лица и сущности антинаучных взглядов Лысенко на генетику и вообще на мировой опыт развития биологической науки сменилась на гораздо более принципиальную и завершилась несколько запоздалым, но известным его призывом: «На костер пойдем, но от убеждений своих не откажемся».

В связи с развернувшейся в стране не столько научно-теоретической, сколько идеологической борьбой со стороны лысенковцев на почве непризнания основ классической генетики следует особое место уделить решающей роли Н.И. Вавилова в организации Института генетики, который ему пришлось возглавлять с 1930 по 1940 г. После скоростной кончины заведующего Лабораторией генетики АН СССР Ю.А. Филипченко на этот пост был избран Н.И. Вавилов, который в 1929 г. был также избран академиком. Не будучи профессиональным генетиком, он внес в эту науку большой, до сих пор значимый вклад своим «Законом гомологических рядов в наследственной изменчивости», сформулированным в 1920 г. в докладе на III Всероссийском селекционном съезде в Саратове. Его заслуженный авторитет в этой молодой еще науке существенно утвердился. На VI Международном генетическом конгрессе в 1932 г. в Итаке, США, он был избран вице-президентом. Его личный международный авторитет был настолько высок, что в 1937 г. было намечено очередной VII генетический конгресс провести в Москве. Провести его удалось лишь в 1939 г. в Эдинбурге, в Шотландии, где Вавилов был избран президентом и где никого из советских генетиков не было. Роковую роль в таком разрывании событий сыграло письмо Презента в правительство, санкционированное Лысенко, в котором тот предостерегал от проведения конгресса в Москве и обвинял Вавилова, по сути доносил на него как на главного застрельщика борьбы с Лысенко и всеми его начинаниями в подъеме сельского хозяйства. Скорее всего, оно оказалось роковым не только для дальнейшей судьбы отечественной генетики, но и для Вавилова лично: через год он был арестован.

Лаборатория генетики АН СССР, находившаяся в Ленинграде, в 1933 г. была преобразована в Институт генетики (ИГЕН), который в 1934 г. был переведен в Москву. То, что в такое сложное для генетики и для биологии в целом время институт смог функционировать и вести ценные научные исследования, – большая заслуга его организатора и первого директора Н.И. Вавилова. Если при Ю.А. Филипченко в лаборатории было всего три штатных единицы сотрудников, то при Н.И. Вавилове Институт превратился в полноценное научное учреждение. Для работы Вавиловым были приглашены туда также известные зарубежные генетики, среди них будущий нобелевский лауреат американец Г. Мёллер (H. J. Muller) и болгарин Дончо Костов. Г. Мёллер оказал всему генетическому направлению развития науки в СССР и лично Вавилову очень важную поддержку в условиях развернувшейся борьбы с генетикой. В 1936 г. Вавилов выступает против Лысенко и его сторонников на сессии ВАСХНИЛ по спорным вопросам генетики и селекции. Однако и

в этом институте, организованном по его инициативе, Вавилову пришлось в создавшихся условиях выдерживать критику на самом высоком правительственном и академическом уровне, а также от лысенковцев среди своих сотрудников, обвинявших его в «гастро-лерстве» [2]. В институт по предложению проверяющей комиссии во главе с академиком Б.А. Келлером был приглашен на работу Лысенко, который организовал там лабораторию, набрав сотрудников из своего Одесского Всесоюзного селекционно-генетического института (ВСГИ). После ареста Вавилова Лысенко становится уже директором ИГЕН.

Нельзя не отдать должное Н.И. Вавилову и как президенту Государственного географического общества, которым он был избран в 1931 г. К тому времени он уже прославил себя как путешественник и ученый своими эпохальными экспедициями в страны пяти континентов. Возглавляя их или путешествуя один, он тут особенно ярко проявил свои организационные способности и человеческие качества неутомимого естествоиспытателя в особо сложных, порой экстремальных условиях. Большая заслуга его и в том, что он отстоял общество, историческое место его пребывания в Ленинграде, когда многие учреждения Академии наук СССР переводились в Москву.

Совмещать интенсивную зарубежную экспедиционную деятельность, а также поездки и экспедиции по стране со всеми организационными вопросами и административными делами, связанными с его должностными обязанностями, было, конечно, далеко не просто. Если это и удавалось, то только благодаря его невероятной физической работоспособности и творческой энергии, неустанному режиму работы, рассчитанному почти на 18 часов в сутки и более, без выходных и отпусков. До определенного времени его на это хватало, хотя в переписке с доверенными лицами попадаются сетования на перегрузку, особенно бюрократического характера. Одно дело – быть мощным генератором научных идей, составителем государственных планов, идейным вдохновителем, а часто организатором и активным участником ботанико-географических экспедиций мирового масштаба, другое – рутинная административная работа на ответственных директорских постах, требующая постоянного присутствия, надзора и разбора часто мелких, а порой мелочных и склочных проблем жизни и быта научных коллективов. Для этого, разумеется, существуют заместители директора и обслуживающий технический персонал. Вавилову не всегда везло с помощниками в этой столь необходимой, но часто неблагодарной сфере жизнедеятельности научно-исследовательских институтов. Его первый и самый лучший в начале совместной работы в институте заместитель – В.Е. Писарев после ареста и скорого

освобождения в 1933 г. в ВИР не вернулся. Можно только догадываться о причинах этого, если знать, какого рода обработке подвергались арестованные по надуманным властью обвинениям. Не смог вернуться в ВИР после заключения и другой близкий соратник Н.И. Вавилова – В.В. Таланов, скончавшийся в 1936 г. В последние годы директорства Вавилова в ВИРе дошло до того, что его заместителем по научной части был назначен Шунденко, окончивший здесь аспирантуру и завербованный сначала во внештатные сотрудники НКВД, а затем переведенный туда как кадровый работник. Ему, очевидно, была отведена немаловажная роль в фабрикации дела Вавилова. Не лучше обстояли дела и в ВАСХНИЛ в пору, когда Вавилов был еще президентом академии. В 1934 г., после того как было принято постановление правительства о неудовлетворительной работе ВАСХНИЛ, вице-президент академии А.С. Бондаренко, фактически заместитель президента, совместно с партгором написали на имя Сталина развернутый донос на Н.И. Вавилова о якобы враждебном отношении его к мероприятиям, проводимым партийной частью Президиума ВАСХНИЛ по преодолению недостатков работы академии. Результаты сказались довольно быстро. Письмо было отправлено 27 марта 1935 г., а уже 4 июня 1935 г. Вавилов был освобожден от должности президента ВАСХНИЛ и назначен вице-президентом. Это не помогло, однако, Бондаренко уцелеть, в 1937 г. он был арестован и расстрелян. Вавилова пока решили не трогать: он имел слишком большой научный вес и международную известность.

При подведении итогов научно-организационной деятельности Н.И. Вавилова надо, прежде всего, выделить его главную, решающую роль в создании двух ведущих институтов, носящих ныне его имя: ВИР и ИОГЕН. Институты действуют, выдают серьезные научные результаты до сих пор. Первому в 2019 г. исполнилось 125 лет, второй – на пороге 90-летия. Важная роль принадлежит Вавилову и в создании ВАСХНИЛ (РАСХН, теперь часть РАН), которой он руководил первые 6 лет работы академии. Из всякого рода деятельности выдающегося ученого и организатора науки полезно извлекать уроки. Н.И. Вавилов начинал свою научную и организационную деятельность в очень трудное для страны время разрухи после революции и Гражданской войны. Несмотря на это, он достиг в начальный 10-летний период своей деятельности очень значительных результатов. Достиг благодаря своему таланту большого ученого и научного стратега. Не лишен он был также и тактических, дипломатических способностей, которые позволяли ему пользоваться поддержкой, содействием, до опре-

деленного времени, властных структур. Власть не то чтобы особо благоволила к нему, но ценила его как крупного специалиста и способного организатора. С вышестоящей властью у него, по сути, не было серьезных конфликтов даже в пору самой пагубной ломки сельскохозяйственного производства, связанного с коллективизацией. Тогда в частных беседах с близкими друзьями и доверенными лицами он высказывался в том духе, что: «Наука – вот главная сила! Пусть будут колхозы, совхозы, что угодно, только бы новые хозяева взялись за землю по науке». Однако это было еще в 1929 г., то есть в самом начале великого перелома на селе. То, что последовало за этим, – страшный голод в 1932–1933 гг., карточная система на продовольствие и прочие тяжкие последствия «головокружения от успехов» сталинской политики в отношении крестьянства, не могло, конечно, не сказаться на Вавиловской внутренней переоценке всего этого. В разговоре с посаженным к нему в камеру доносчиком и провокатором он высказывался уже иначе, говоря, что «сельское хозяйство в СССР претерпевает сложную деградацию, которая является результатом массового сопротивления колхозного крестьянства мероприятиям правительства. Основа этого скрытого саботажа кроется в грабительской форме эксплуатации мужика и преступном обесценивании труда крестьянина» [6, 7].

Внутренний конфликт с властью не мог не перейти во внешний, приведший к его аресту, главным образом из-за деятельности Лысенко, особенно после того, как тот заступил на пост президента ВАСХНИЛ и стал методически разрушать главное детище Вавилова – ВИР. Еще до его ареста в 1940 г. приказом Лысенко из состава Ученого совета было выведено 16 ведущих научных сотрудников. Это был рассчитанный удар, чтобы изгнать из института весь цвет Вавиловской школы ученых, чтобы потом искоренить тут и самый дух Вавилова. Искоренить его, к счастью, не удалось. Даже в самое мрачное время лысенковщины Институт продолжал хранить Вавиловские идеи, если не руководствоваться ими, сохранять созданную им и преданными ему сотрудниками мировую коллекцию растительных ресурсов. К великим научным и организационным достижениям Н.И. Вавилова относится именно это его бесценное наследие, которым поныне располагает его институт, сохранив в самые тяжкие военные годы и приумножив в послевоенное время. Нынешняя система международных генбанков мировых растительных ресурсов немыслима без коллекции, собранной и заложеной Н.И. Вавиловым – одним из первопроходцев и организаторов этого дела, без которого невозможны селекционный процесс и создание высоко конкурентных сортов.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Авруцкая ТБ, Захаров-Гезехус ИА. Меллер Герман Джозеф. В кн.: Соратники Николая Ивановича Вавилова. Санкт-Петербург: ВИР; 2017. С. 357-62.
2. Гончаров НП. Николай Иванович Вавилов. Новосибирск: Изд-во СО РАН; 2014.
3. Лоскутов ИГ. История мировой коллекции генетических ресурсов растений в России. Санкт-Петербург: ВИР; 2009.
4. Вавилов НИ. Из эпистолярного наследия 1911-1928 гг. М.: Наука; 1980.
5. Петербургский аграрный университет и становление сельскохозяйственного образования. Документальная история. СПб.: Нота-Бене; 1994.
6. Рокитянский ЯГ, Вавилов ЮН, Гончаров ВА (ред.). Суд палача. Николай Вавилов в застенках НКВД. Биографический очерк. Документы. СПб.: Academia; 1999.
7. Трускинов ЭВ. Н.И. Вавилов. Драма жизни и смерти (литературно-публицистический очерк). Санкт-Петербург: Папирус; 2006.
8. Трускинов ЭВ. Н.И. Вавилов в Царском Селе. Санкт-Петербург; 2009.
9. Трускинов ЭВ. Русское сельскохозяйственное представительство в Америке. Санкт-Петербург: ВИР; 2012.
10. Федотова АА, Гончаров НП. Бюро по прикладной ботанике в годы Первой мировой войны. Санкт-Петербург: Нестор-История, 2014.

Общий список литературы/References list

1. Avrutskaya TB, Zakharov-Gezekhus IA. [Muller, Hermann Joseph]. In: Soratniki Nikolaya Ivanovicha Vavilova. Saint Petersburg: VIR; 2017. p. 357-62. (In Russ.)
2. Goncharov NP. Nikolaj Ivanovich Vavilov. Novosibirsk; SO RAN; 2014. (In Russ.)
3. Loskutov IG. Istorija Mirovoy Kollektzii Geneticheskikh Resursov Rasteniy v Rossii. Saint Petersburg; 2009. (In Russ.)
4. Vavilov NI. Iz Epistoliarnogo Naslediya 1911-1928 GG. Moscow: Nauka; 1980. (In Russ.)
5. Peterburgskiy Agrarniy Universitet i Stanovleniye Selskokhoziaystvennogo Obrazovaniya. Saint-Petersburg: Nota-Bene; 1994. (In Russ.)
6. Rokitinskiy YaG, Vavilov YuN, Goncharov (Eds.). Sud palacha. Nikolaj Vavilov v Zastenkakh NKVD. Biograficheskiy Oчерk. Dokumenty. Saint-Petersburg: Academia, 1999. (In Russ.)
7. Truskinov EV. N.I. Vavilov. Drama Zhizni i Smerti (Literaturno-Publicisticheskij Oчерk). Saint-Petersburg: VIR; 2006. (In Russ.)
8. Truskinov EV. N. I. Vavilov v Tzarskom Sele. Saint-Petersburg; 2009. (In Russ.)
9. Truskinov EV. Russkoye Selskokhoziaystvennoye Predstavitelstvo v Amerike. Saint-Petersburg; 2012. (In Russ.)
10. Fedotova AA, Goncharov NP. Buro po Prikladnoy Botanike v Gody Pervoy Mirovoy Voyny. Saint-Petersburg: Nestor-Istoriya; 2014. (In Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АКУЛИН

ИГОРЬ МИХАЙЛОВИЧ,

доктор медицинских наук, заведующий кафедрой организации здравоохранения и медицинского права Санкт-Петербургского государственного университета. Окончил Курский государственный медицинский институт в 1973 г. по специальности «лечебное дело».

В 1996 г. получил второе высшее образование в Санкт-Петербургском государственном университете на юридическом факультете по специальности «юриспруденция». В 1973–1974 гг. начал трудовую деятельность в Ленинградском институте усовершенствования врачей-экспертов на должности невропатолога-эксперта. В 1974–1975 гг. работал в Брянской областной врачебно-трудовой экспертной комиссии. В 1991–1996 гг. стал заместителем начальника управления амбулаторной базы. С 1995 г. – начальник управления перспективного развития здравоохранения, начальник амбулаторной базы, в Комитете по здравоохранению Санкт-Петербурга отвечал за организацию обязательного медицинского страхования и первичную медикосоциальную помощь. С 1996 г. занимал должность заместителя Председателя Комитета по здравоохранению Правительства Санкт-Петербурга, под его руководством были реализованы программы развития общеврачебной практики и обязательного медицинского страхования. С 1999 г. – директор филиала ОАО «Газпроммедстрах», с 2003 по 2010 г. занимал должность директора Санкт-Петербургского филиала ОАО «СОГАЗ». Общественную и экспертную работу ведет, будучи председателем Правления Ассоциации медицинского права Санкт-Петербурга, председателем Третьей инстанции по медицинскому страхованию и здравоохранению при Торгово-промышленной палате Санкт-Петербурга, членом Консультативного Совета при Уполномоченном по правам человека в Санкт-Петербурге. Научные интересы: вопросы медицинского права, общеврачебная практика, семейная медицина, промышленная медицина. Является автором более 110 научных трудов, 5 учебно-методических пособий, соавтором учебника по правоведению. Подготовил 2 кандидатов медицинских наук, 29 магистров и дипломников по специализации «медицинское право».



ВАЛЬКОВА

СВЕТЛАНА АЛЕКСАНДРОВНА,

кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии севера Кольского научного центра РАН (Апатиты). Родилась в 1981 г. в г. Никополе (Украина), окончила экологический факультет Петрозаводского государственного университета. Область научных интересов: гидробиология, пресноводный зообентос, биоиндикация. Автор или соавтор более 80 научных публикаций.



ВАНДЫШ

ОКСАНА ИВАНОВНА,

кандидат биологических наук, доцент, ученый секретарь Института проблем промышленной экологии севера Кольского научного центра РАН. Родилась в 1966 г. в Мурманске, окончила биологический факультет Петрозаводского государственного университета по специальности «Биология» в 1988 г. Специалист в области изучения особенностей функционирования зоопланктонных сообществ пресноводных водоемов Арктической зоны РФ в условиях комплексного антропогенного воздействия: общий и специфический отклики на долговременные техногенные воздействия, загрязнение тяжелыми металлами, эвтрофирование, закисление; мониторинг и биоиндикация.



ГВОЗДЕЦКИЙ

АНТОН НИКОЛАЕВИЧ,

окончил Санкт-Петербургский государственный университет в 2014 г. по специальности «лечебное дело». В 2016 г. получил сертификат специалиста по специальности «Психиатрия». С 2016 по 2019 г. работал врачом-психиатром в Городской психиатрической больнице № 7 имени акад. И.П. Павлова. Научные интересы: медицинское право и этика в психиатрии, организация психиатрической помощи, математическое моделирование психических



процессов, воспроизводимые биомедицинские исследования. Выполнял работы по анализу данных в ряде исследовательских проектов, в том числе для Лаборатории мозаики аутоиммунитета Санкт-Петербургского государственного университета. Автор и соавтор более 30 научных работ.

**ГЕРАСИМОВ
АЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ,**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории методов реабилитации техногенных ландшафтов Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН. Родился в 1975 г. в Ленинграде. В 1999 г. окончил Лесохозяйственный факультет Лесотехнической академии. В 2003 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме «Устойчивость хвойных пород в уличных посадках Санкт-Петербурга» в Научно-исследовательском институте лесного хозяйства. Область научных интересов: экология и охрана окружающей среды. Автор более 50 научных публикаций.



**ДАУВАЛЬТЕР
ВЛАДИМИР АНДРЕЕВИЧ,**

доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории экологии водных экосистем Института проблем промышленной экологии севера Кольского научного центра РАН (Апатиты). Родился в 1957 г. в г. Октябрьском Башкирской АССР. В 1983 г. окончил Ленинградский горный институт им. Г.В. Плеханова. После окончания института работал во Всесоюзном научно-исследовательском институте геофизических исследований скважин (ВНИИГИС, г. Октябрьский), с 1986 г. – в АО «Апатит» (г. Кировск, Мурманской области). В Институте проблем промышленной экологии Севера работает с момента его создания в 1989 г. Специалист в областях геохимии, гидрохимии, геоэкологии, охраны и рационального использования арктических и северных пресноводных экосистем. Автор более 480 научных трудов, в том числе более 30 монографий. Член ряда отечественных и зарубежных научных обществ.



**ДЕМИДОВ
ЮРИЙ ТИХОНОВИЧ,**

родился в 1950 г. в Мурманске. Окончив среднюю школу № 1, сменил несколько разных рабочих специальностей. В 1988 г. создал и возглавил рыболовецкий колхоз «Прибрежный» в поселке Лиинахамари Мурманской области. В октябре 2009 г. по его инициативе было принято решение в Правительстве РФ (№ 1535-р) о создании первого коммерческого порта в Мурманской обла-



сти – терминала Лиинахамари Морского порта Мурманск, который он и возглавил. Область интересов: все новое, инновационное, необходимое людям. Выступил соинвестором создания Заполярной пасеки в Терском районе Мурманской области. В 2012 г. издал в соавторстве монографию «Как водить пчел на Севере в третьем тысячелетии». В 2013 г. совместно с партнерами занялся инвестированием в проект внедрения титано-силикатных сорбентов в промышленность РФ и создание Кольского химико-технологического кластера.

**ДЕНИСОВ
ДМИТРИЙ БОРИСОВИЧ,**

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра. Родился в 1979 г. в г. Кировске Мурманской области. В 2001 г. окончил Петрозаводский государственный университет. Специалист в области экологии пресноводных водоемов, альгологии, биоиндикации, палеолимнологии, диатомового анализа. Автор более 200 научных публикаций.



**ЗАГОРОДНИКОВ
ГЕННАДИЙ ГЕННАДИЕВИЧ,**

доктор медицинских наук, полковник медицинской службы, начальник научно-исследовательского отдела (Всеармейский медицинский регистр МО РФ) научно-исследовательского центра ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ. Родился в г. Балашове Саратовской области в 1973 г. Окончил Военно-медицинскую академию им. С.М. Кирова в 1997 г. Область интересов: исследование динамики адаптации летного состава в условиях Крайнего Севера. Имеет 47 научных работ по данной тематике.



**ЗАГОРОДНИКОВ
ГЕННАДИЙ НИКОЛАЕВИЧ,**

кандидат медицинских наук, научный сотрудник научно-исследовательского отдела (экспериментальной медицины) научно-исследовательского центра Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Родился в г. Балашове Саратовской области в 1940 г. Окончил ВМА им. С.М. Кирова в 1972 г. Область интересов: исследование динамики адаптации военнослужащих в условиях Арктической зоны. Имеет 18 научных работ по данной тематике.



ЗУБОВА**ЕЛЕНА МИХАЙЛОВНА,**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Родилась в 1984 г. в д. Трошева Пермского края, окончила Пермский государственный национальный исследовательский университет, биологический факультет, в 2011 г. Область научных интересов: экология и биология рыб, изучение темпов линейного роста рыб, экологический мониторинг, промышленное загрязнение.

**КАШУЛИН****НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ,**

доктор биологических наук, профессор, заслуженный эколог РФ, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Специалист в области экологии, охраны и рационального природопользования поверхностных вод Арктики. Область научных интересов: динамика пресноводных экосистем Арктики и Субарктики под воздействием глобальных и региональных изменений окружающей среды, исследования проблем биоиндикации антропогенного воздействия, включая загрязнения водоемов тяжелыми металлами. Автор и соавтор более 300 научных работ, в том числе 19 монографий.

**КОРОВИН****АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ,**

доктор медицинских наук, доцент, подполковник медицинской службы, начальник научно-исследовательской лаборатории военной терапии научно-исследовательского центра Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, профессор кафедры патологии СПбГУ. Родился в Ленинграде в 1970 г. Окончил с отличием ВМА им. С.М. Кирова в 1994 г. Область интересов: исследования адаптации лётного состава в условиях Крайнего Севера. Имеет 12 научных тематических работ.

**КРИВОВИЧЕВ****СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ,**

доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой кристаллографии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государ-



ственного университета. Родился в 1972 г. в Ленинграде. В 1994 г. окончил геологический факультет СПбГУ. В 1997 г. защитил кандидатскую и в 2001 г. – докторскую диссертацию. В 2017 г. был избран на должность Председателя Кольского научного центра РАН. В числе основных достижений С.В. Кривовичева – расшифровки кристаллических структур более чем 120 минералов, приведшие к открытию и созданию научного описания свыше 80 минералов из месторождений России. С.В. Кривовичевым получены и исследованы около 200 новых соединений, а также наноматериалов на основе урана и трансурановых элементов, что способствует решению задачи обеспечения безопасности отработавшего ядерного топлива. Опубликовал более 400 научных статей в ведущих российских и международных изданиях. Автор и редактор 6 монографий. Член редколлегий журналов «Вестник Российской академии наук» (с 2018 г.) и ряда российских и международных научных журналов в области минералогии и кристаллографии. Как священнослужитель Русской православной церкви (первый с 1917 г., избран в Академию наук) считает, что «верующий учёный более осмысленно смотрит на мир», личным примером доказывая совместимость веры и научной работы. Автор книги «Наука верующих или вера учёных: век XX».

МАРАРИЦА**ВАЛЕРИЙ ФЕДОРОВИЧ,**

кандидат философских наук. Родился в 1955 г. в г. Бендеры Молдавской ССР. С 2013 г. по настоящее время директор и председатель ученого совета Северо-Западного научно-производственного и туристического центра «Социум». Область научных интересов: философия, социология, системотехника. В этом качестве более 25 лет осуществляет научное и организационное руководство областной системой мониторинга и прогнозирования общественного мнения населения Мурманской области. Руководил рабочей группой при Губернаторе в области гуманитарных аспектов ядерной и радиационной безопасности Кольского полуострова. Курировал от Правительства Мурманской области контракты по этим проблемам с «Росатомом», со шведской стороны по губе Андреева, с французской стороны по Гремихе и с Евросоюзом по информационному проекту ТАСИС. Прошел курс кризисного менеджмента в программе международного сотрудничества в области ядерной энергетики (Стокгольм). В 2013 г. по предложению академика РАН В.Т. Калинникова занялся внедрением титано-силикатных сорбентов в промышленность РФ в рамках проекта создания Кольского химико-технологического кластера. Ведет активную научно-внедренческую деятельность. Автор и соавтор более 30 научных статей и 7 книг.



**МИРОНОВ
ВАСИЛИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ,**

доктор медицинских наук, полковник медицинской службы, доцент кафедры оториноларингологии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (Санкт-Петербург). Родился в г. Кировске Ленинградской области в 1969 г. Окончил Военно-медицинскую академию им. С.М. Кирова в 1993 г. Область интересов: исследование физиологии и адаптации ЛОР органов лётного состава в условиях Крайнего Севера.


**НИКОЛАЕВ
АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ,**

кандидат химических наук, доктор технических наук, член-корреспондент РАН (с 2008 г.), заместитель директора по научной работе в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. Н.В. Тананаева Кольского научного центра РАН (г. Апатиты, Мурманская область). Родился в 1944 г. в г. Кировске Мурманской области. В 1969 г. окончил Северо-Западный политехнический институт по специальности «технология неорганических веществ». В 1975 г. защитил кандидатскую и в 1994 г. – докторскую диссертацию. В Институте с 1962 г. прошел путь от препаратора до заведующего лабораторией химии и технологии сырья тугоплавких редких элементов и до должности, занимаемой по настоящее время с 2004 г. Области основных научных интересов: химия и химическая технология минерального сырья, экстракционный метод извлечения и разделения редких металлов, получение чистых веществ, пигментов, сорбентов, сварочных и других материалов, синтез аналогов природных нанопористых титано-силикатов, охрана окружающей среды. Автор и соавтор 328 научных работ, в том числе 5 монографий.


**ПОКРОВСКИЙ
ЮРИЙ GERMANOVICH,**

директор инновационного предприятия «Фарматитан СПбГУ». Родился в 1958 г. в Челябинске. В 1980 г. окончил химический факультет ЛГУ им. А.А. Жданова и поступил на работу в Радиевый институт им. В.Г. Хлопина (Ленинград/Санкт-Петербург), где прошел путь от старшего техника и инженера до начальника лаборатории и генерального директора (2016–2017). Юрий Германович является автором и соавтором ряда научных трудов и патентов. Награжден знаками отличия «Ветеран атомной энергетики и промышленности», имеет благодарность от Госкорпорации «Росатом», в которую сегодня входит Радиевый институт. В 2019 г. по рекомендациям от Санкт-Петербургского государственного университета и Северо-западного научно-практи-



ческого центра «Социум» назначен директором предприятия «Фарматитан СПбГУ». Область научных интересов: радиохимическое обеспечение атомной промышленности; научные исследования и разработки в области биотехнологии; ядерная медицина – использование радионуклидов для борьбы с различными заболеваниями.

**ПОЛЯК
ЮЛИЯ МАРКОВНА,**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории методов реабилитации техногенных ландшафтов Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН. Родилась в 1961 г. в Ленинграде. Работает в НИЦЭБ РАН с 2000 г. Область научных интересов: аллелопатические взаимодействия между почвенными микроорганизмами и растениями, аллелопатические свойства загрязненных почв, восстановление антропогенно нарушенных почв и другие. Автор более 50 научных трудов.


**СОПРУН
ЛИДИЯ АЛЕКСАНДРОВНА,**

кандидат медицинских наук, ассистент кафедры организации здравоохранения Санкт-Петербургского государственного университета. В 2009 г. с отличием окончила микро-профилактический факультет Оренбургской государственной медицинской академии с квалификацией «врач медико-профилактического дела». В 2009–2010 гг. училась в клинической интернатуре по общей гигиене, а в 2010–2011 гг. – в клинической интернатуре по эпидемиологии на базе Медицинской академии постдипломного образования «МАПО» на кафедре медицинской экологии и эпидемиологии им. Г.В. Хлопина. На медицинском факультете СПбГУ преподает с 2013 г. Соавтор программ дисциплин «гигиена» и «гигиена, основы экологии человека, военная гигиена» для студентов медицинского факультета и факультета стоматологии и медицинских технологий. Направления научных интересов: больничная гигиена, эпидемиология гемоконтактных инфекций, медицинские отходы. Автор и соавтор более 30 научных работ.


**СТРОЕВ
ЮРИЙ ИВАНОВИЧ,**

кандидат медицинских наук, доцент, профессор кафедры патологии медицинского факультета СПбГУ, академик Петровской академии наук и искусств, почетный член Санкт-Петербургского общества терапевтов имени С.П. Боткина, известный в России и за ее пределами терапевт-эндокринолог с 55-летним врачебно-педагогическим



стажем. Родился в 1940 г. в Орловской области. Окончил Ленинградский педиатрический медицинский институт (1963), в 1984–1990 гг. заведовал кафедрой госпитальной терапии ЛПМИ. С 2003 г. работает в СПбГУ. Научные интересы – общая терапия, эндокринология, кардиология, подростковая медицина, клиническая патология, медицинская этика и деонтология. Опубликовал 580 научных работ, включая 7 монографий. Автор ряда работ по литературе и искусству, в частности, тургеневедению и пушкинистике. Ряд трудов издан за границей (Греция, США, КНР). Участник многочисленных отечественных и зарубежных конгрессов (Канада, Китай, Португалия, Румыния, Украина, Япония). Один из пионеров тепловидения в медицине (награжден медалью ВДНХ). Член редакционной коллегии журнала «Клиническая патофизиология». За обучение иностранных студентов награжден Грамотой правительства Йемена.

**ТЕРЕНТЬЕВ
ПЕТР МИХАЙЛОВИЧ,**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (Апатиты). Родился в 1978 г. в с. Краснощелье Мурманской области. Окончил экологический факультет Петрозаводского государственного университета в 2001 г. Область научных интересов: ихтиология, динамика популяций рыб, оценка состояния водных экосистем в условиях многофакторного антропогенного воздействия и изменений климата.



**ТОВПЕКО
ДМИТРИЙ ВИКТОРОВИЧ,**

старший оператор научной роты № 8 Главного Военно-медицинского Управления при Научно-исследовательском центре Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (Санкт-Петербург). Родился в городе Балаково Саратовской области в 1994 г. Окончил Московский государственный университет тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова в 2018 г. Имеет 2 опубликованные научные работы.



**ТРУСКИНОВ
ЭРНСТ ВАЛЕНТИНОВИЧ,**

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник ВНИИ генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (Санкт-Петербург). Круг научных интересов: биотехнология, фитовирусология, селекция и семеноводство картофеля. Возглавлял комиссию по вирусным, виридным и фитоплазмовым болезням Отделения защиты растений РАСХН.



Перевел и издал две монографии зарубежных авторов по вирусным болезням и семеноводству картофеля. Автор более 150 научных публикаций, в том числе работ по истории науки, включая статьи и книги о Н.И. Вавилове и его соратниках.

**УТЕХИН
ВЛАДИМИР ИОСИФОВИЧ,**

кандидат медицинских наук, доцент кафедры патологии медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета. Родился в 1944 г. в г. Кировске Мурманской области, окончил Ленинградский санитарно-гигиенический медицинский институт в 1970 г. Научный сотрудник морфологического отдела ЦНИЛ ЛСГМИ в 1970–1981 гг. В 1978 г. во 2-м МОЛГМИ защитил диссертацию на тему «Строение и реактивность поджелудочной железы при нарушении баланса гормонов щитовидной железы». С 1981 по 2004 г. – ассистент, доцент, руководитель лаборатории электронной микроскопии кафедры патологической физиологии Ленинградского педиатрического медицинского института. С 2004 г. по настоящее время – доцент кафедры патологии СПбГУ. Область научных интересов: ультраструктурная организация эндокриноцитов с различным типом секреции, патофизиология, история медицины. Автор более 100 научных работ. Соавтор учебного комплекса «Патофизиология» (соавтор отдельных глав трехтомного учебника, практикума и комплекта учебных плакатов). Соавтор первого в России толкового словаря эпонимов в патологии (2010).



**ЧЕРЕПАНОВ
АЛЕКСАНДР
АЛЕКСАНДРОВИЧ,**

ведущий инженер лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН. Окончил экологический факультет Кольского филиала Петрозаводского государственного университета по специальности биология в 2010 г. Область научных интересов: современное состояние зоопланктонного сообщества, ответная реакция организмов на биотические и абиотические факторы, изучение сезонной динамики зоопланктона и их пространственное распределение в водоемах.



**ЧУГУНОВА
МАРИНА ВАЛЕНТИНОВНА,**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории методов реабилитации техногенных ландшафтов Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН. Родилась в 1954 г. в Ленинграде. В 1976 г. с отличием окончила биоло-



го-почвенный факультет Ленинградского государственного университета им. А.А. Жданова по специальности «почвоведение-агрохимия». В 1989 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему: «Влияние тяжелых металлов на почвенные микробиоценозы и их функционирование». Сфера научных интересов: экология почвенных микроорганизмов и охрана окружающей среды. Автор более 100 научных трудов.

**ЧУРИЛОВ
ЛЕОНИД ПАВЛОВИЧ,**

кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой патологии Санкт-Петербургского государственного университета, академик Международной Академии наук «Здоровье и экология», заместитель руководителя лаборатории мозаики аутоиммунитета СПбГУ, ведущий научный сотрудник НИИ фтизиопульмонологии. Родился на Кольском Севере в 1956 г., окончил Ленинградский педиатрический институт в 1979 г. Направления научных интересов: иммуноэндокринология, патофизиология аутоиммунитета, нарушений метаболизма и экстремальных состояний, биотермодинамика, медицинская экология, история медицины и биоэтика. Опубликовал более 700 научных трудов, более 30 монографий, руководств и учебников. Создал учебный комплекс «Патофизиология», включающий авторский трехтомный учебник и практикум, положенные в основу преподавания во многих вузах русскоязычных стран. Имеет авторские свидетельства на изобретения. На 2020 г. – в числе 50 самых цитируемых ученых Санкт-Петербурга по направлению «Медицина и здравоохранение» (elibrary.ru). Лауреат II Всесоюзного конкурса на лучшее исследование по патофизиологии и премии V Всемирного конгресса патофизиологов за лучший научный доклад, премии СПбГУ «За педагогическое мастерство», участник медико-экологических экспедиций в Чернобыльскую зону и по ходу Восточно-Уральского радиоактивного следа, награжден Российской экологической академией медалью М.В. Ломоносова за вклад в науку и экологию. Соработчик и декан первой в истории отечественного медицинского образования программы англоязычного медицинского обучения, за что удостоен почетного диплома Сената штата Нью-Йорк. Награжден Почетной грамотой Минобрнауки РФ за долготелетний добросовестный труд, почетными грамотами СПбГУ, грамотами и медалями Общества патофизиоло-



гов, Санкт-Петербургской духовной семинарии, Правительства Йемена, гражданских и военных университетов Китая. Член Санкт-Петербургского отделения Международного общества патофизиологов и Общества историков медицины, зарубежный член Правления Общества патофизиологов Украины, член редколлегий научных журналов: «Autoimmunity Reviews», «Биосфера», «Клиническая патофизиология», «Russian Biomedical Research», «Вестник СПбГУ. Медицина», «Romanian Medical Journal» и др.

**ЯКОВЕНЧУК
ВИКТОР НЕСТЕРОВИЧ,**

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории синергетики минеральных систем Геологического института Кольского научного центра РАН (Апатиты). Родился в 1950 г. в с. Звенигороде Тернопольской области. Окончил геологическое отделение Каменец-Подольского промышленного техникума (1969) и геологический факультет Воронежского государственного университета по специальности «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» (1989). Работал в Дальневосточной комплексной геологоразведочной экспедиции (Владивосток), в составе поисково-съёмочных партий Мурманской и Центрально-Кольской геологоразведочных экспедиций. В Геологическом институте КНЦ РАН с 1982 г. Занимался исследованиями минералогии редкометалльных пегматитов, щелочных и щелочно-ультраосновных комплексов, по результатам которых опубликовал 6 книг и более 70 статей в ведущих отечественных и зарубежных журналах. Значительная часть работ посвящена процессам самоорганизации минерального вещества: формированию дендритов и скелетных кристаллов, самосборке кристаллических структур из нанонитей и нанотрубок и др. В настоящее время В.Н. Яковенчук активно изучает природные нанопористые титано-силикаты и их катионообменные свойства, а также двойные гидроксиды и их анионообменные свойства. Первооткрыватель 20 новых минеральных видов. За вклад В.Н. Яковенчука в минералогию щелочных и щелочно-ультраосновных комплексов Международной минералогической ассоциацией в 2007 г. утверждено название «яковенчукит-(Y)» для нового редкоземельного силиката, открытого в Хибинском массиве.



БЛАГОДАРНОСТЬ РЕЦЕНЗЕНТАМ

Редакция журнала «Биосфера» и руководство ФНИ «XXI век» считают рецензирование рукописей важнейшим условием работы научных журналов и выражают глубокую признательность специалистам, согласившимся помочь редколлегии в 2019 г.:

- Апарин Б.Ф.** докт. с.-х. наук, профессор кафедры почвоведения и экологии почв Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета
- Архипченко И.А.** докт. биол. наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии, Лауреат Премии Правительства России (Калужская обл. г. Обнинск)
- Бабиков Б.В.** докт. с.-х. наук, профессор, профессор кафедры лесных культур Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова
- Бакина Л.Г.** докт. биол. наук, заведующая лабораторией методов реабилитации техногенных ландшафтов Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН
- Балахонов А.В.** канд. биол. наук, докт. пед. наук, профессор кафедры физиологии медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета
- Беляев В.Я.** канд. физ.-мат. наук, доцент Мурманского Арктического государственного университета
- Быков Е.В.** канд. биол. наук, заместитель директора по научной работе Национального парка «Самарская Лука» (Самарская обл., г. Жигулевск)
- Васильев А.Г.** докт. мед. наук, профессор, заведующий кафедрой патофизиологии Санкт-Петербургского государственного педиатрического университета Министерства здравоохранения РФ
- Гапанович С.О.** младший научный сотрудник лаборатории сравнительной нейрофизиологии Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург)
- Гончар А.Г.** ассистент кафедры зоологии беспозвоночных биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета
- Губарь Л.М.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник Института эволюционной экологии НАН Украины (Киев)
- Жигунов А.В.** докт. с.-х. наук, профессор, профессор кафедры лесных культур Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова
- Кавтарадзе Д.Р.** докт. биол. наук, ведущий научный сотрудник кафедры общей экологии, биологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова
- Капелькина Л.П.** докт. биол. наук, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН
- Кулакова Н.Ю.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник отдела защитного лесоразведения и лесной зоологии института лесоведения РАН (Москва)
- Кулеш В.П.** канд. геогр. наук, доцент кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета
- Курашов Е.А.** докт. биол. наук, профессор, член-корреспондент Российской академии естествознания, заведующий лабораторией гидробиологии Института озероведения РАН (Санкт-Петербург)
- Левченко В.Ф.** докт. биол. наук, заведующий лабораторией моделирования эволюции Института эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН (Санкт-Петербург)
- Мартынюк А.А.** докт. с.-х. наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (Московская обл., г. Пушкино)
- Нацваладзе Н.Ю.** начальник отдела развития системы ООПТ Дирекции особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга
- Попов И.Ю.** канд. биол. наук, старший научный сотрудник кафедры прикладной экологии биологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета
- Пятина Е.В.** канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева (Санкт-Петербург)
- Рисник Д.В.** канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

- Сергеев Ю.Н.** докт. геогр. наук, профессор кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета
- Смирнов А.П.** докт. с.-х. наук, профессор кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета
- Толкач О.В.** докт. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник Ботанического сада Уральского отделения РАН (Екатеринбург)
- Тукачева А.В.** канд. с.-х. наук, научный сотрудник Ботанического сада Уральского отделения РАН (Екатеринбург)
- Харченко С.Г.** докт. физ.-мат. наук, проф., академик Российской академии естественных наук (РАЕН), Академии Военных Наук (АВН), Российской Экологической Академии (РЭА), действующий член Нью-Йоркской академии наук (NYAS) и Международного общества по анализу риска (SRA), Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС), профессор Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова (Москва)
- Цибульская И.А.** канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник Инновационного центра защиты растений (Санкт-Петербург)
- Шешукова А.А.** канд. с.-х. наук, старший преподаватель кафедры почвоведения и экологии почв Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета
- Щербо А.Б.** докт. мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН, заместитель генерального директора Медицинского центра Корпорации РМІ по научной работе (Санкт-Петербург)



Подписано в печать **27.03.2020.**
Отпечатано в типографии «Лпринт»:
197374, Санкт-Петербург, ул. Сабировская, 37,
Тел.: **+7(812) 430-91-55.**
Заказ № **19121076.** Тираж **700 экз.**
Цена свободная