



*Российская Академия Наук*

# ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

**4/2019** (10)

**ПРИКЛАДНАЯ  
ЭКОЛОГИЯ СЕВЕРА**

выпуск 7

Апатиты  
2019

0+

4/2019(10)

издается с декабря 2010 г.

УДК 574(470.21)  
ISSN 2307-5252

*Российская Академия Наук*

0+

# ТРУДЫ

Кольского научного центра

## ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ СЕВЕРА

выпуск 7

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4

### Научно-информационный журнал

Основан в 2010 году

Выходит 11 раз в год

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

Свидетельство о регистрации СМИ

ПИ № ФС77-58457 от 25.06.2014

выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Главный редактор, председатель Редакционного совета

С. В. Кривовичев, чл.-корр. РАН, д. г.-м. н., проф.

Заместитель главного редактора

В. К. Жиров, чл. - корр.

Редакционный совет:

академик Г. Г. Матишов,

чл. - корр. А. И. Николаев,

д. э. н. Ф. Д. Ларичкин

д. т. н. В. А. Путилов,

д. ф. - м. н. Е. Д. Терещенко,

к. т. н. А. С. Карпов (отв. секретарь)

Редколлегия серии

«Прикладная экология Севера»:

д. т. н. В. А. Маслобоев (отв. редактор),

к. б. н. Е. А. Боровичев (зам. отв. редактора),

к. б. н. О. И. Вандыш,

д. б. н. В. А. Даувальтер,

к. б. н. Д. Б. Денисов,

к. б. н. И. В. Зенкова,

к. с.-х. н. Л. Г. Исаева,

к. э. н. Е. М. Ключникова,

к. б. н. М. В. Корнейкова,

к. б. н. Н. Е. Королева,

д. т. н. Д. В. Макаров,

к. б. н. П. М. Терентьев

Научное издание

Ответственный за выпуск: к. б. н. Е. А. Боровичев

Технический редактор: В. Ю. Жиганов

Подписано к печати 09.10.2019.

Дата выхода в свет 27.12.2019.

Формат бумаги 70×108 1/16.

Усл. печ. л. 12.1. Заказ № 30. Тираж 300 экз.

Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии:

Федеральное государственное бюджетное

учреждение науки

Федеральный исследовательский центр

«Кольский научный центр РАН»

184209, г. Апатиты, Мурманская обл.,

ул. Ферсмана, 14

Тел.: (81555) 7-53-50; 79-5-95, факс: (81555) 76425

E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru, naukaprint.ru

**СОДЕРЖАНИЕ**

	Стр.
Предисловие.....	5
По жизни на бешеной скорости. (К юбилею Владимира Алексеевича Маслобоева).....	6
Даувальтер В. А., Фоновые содержания элементов в донных Кашулин Н. А. отложениях озера Имандра.....	13
Терентьева И. А., Структура многолетнего водного баланса Терентьев П. М. антропогенно-преобразованного водоема.....	30
Сандимиров С. С., Гидрография рек и озер в районе Мингалева Т. А. Федерово-Панских тундр (Мурманская область).....	40
Терентьев П. М., Рыбное население плеса Бабинская Имандра Зубова Е. М., и его структурные перестройки в условиях Кашулин Н. А., комплексного антропогенного воздействия..... Королева И. М.	50
Круглова А. Н., Планктонная фауна рек Кемь, Ковда и их притоков Комулайнен С. Ф. (бассейн Белого моря, Республика Карелия, Россия).....	74
Черепанов А. А., Исследования сообществ зоопланктона озер Денисов Д. Б., города Мурманска.....	83
Слуковский З. И., Вандыш О. И., Постнова С. В.  Денисов Д. Б. Фитопланктон водоемов Мурманской области в зонах влияния металлургической промышленности.....	94
Корнейкова М. В., Микроорганизмы почв полуострова Рыбачий.... Редькина В. В., Мязин В. А., Фокина Н. В., Шалыгина Р. Р.	108
Боровичёв Е. А., Дополнение к флоре мохообразных заповедника Бойчук М. А. «Пасвик» (Печенгский район, Мурманская область).....	123
Бойчук М. А., Мхи западной части планируемого заказника Поликарпова Н. В. «Воръема» (Мурманская область, Россия).....	127

4/2019(10)  
Published since 2010

*Russian Academy of Sciences*

0+

UDC 574(470.21)  
ISSN 2307-5252

# TRANSACTIONS

## Kola Science Centre

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

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

Editorial Council:

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

## APPLIED ECOLOGY OF THE NORTH

Series 7

Editorial Board

of «Applied Ecology of the North» Series:

V. A. Masloboev, Dr. Sc. (Engineering),  
Editor-in-Chief,  
E. A. Borovichev, PhD (Biology),  
Deputy Editor-in-Chief,  
O. I. Vandysh, PhD (Biology),  
V. A. Dauvalter, Dr. Sc. (Biology),  
D. B. Denisov, PhD (Biology),  
I. V. Zenkova, PhD (Biology),  
L. G. Isaeva, PhD (Agriculture),  
E. M. Klyuchnikova, PhD (Economics),  
M. V. Korneykova, PhD (Biology),  
N. E. Koroleva, PhD (Biology),  
D. V. Makarov, Dr. Sc. (Engineering),  
P. M. Terentjev, PhD (Biology)

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

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4

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

© Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS, 2019  
© Federal Research Centre "Kola Science Centre of RAS", 2019

CONTENTS

	Page
Preface.....	5
Through life at breakneck speed (To the anniversary of Vladimir Alekseevich Masloboev).....	6
Dauvalter V. A., Background levels of chemical elements Kashulin N. A. in the sediments of the Imandra Lake.....	13
Terentjeva I. A., Long-term water balance structure Terentjev P. M. of an antropogennically modified lake.....	30
Sandimirov S. S., Hydrography of rivers and lakes in the Fedorovo-Pansky Mingaleva T. A. Tundra Area in the Murmansk Region.....	40
Terentjev P. M., Ichthyofauna of the Babinskaya Streth of Imandra Zubova E. M., Lake and its structure in conditions of the complex Kashulin N. A., antropogenic impact.....	50
Koroleva I. M.	
Kruglova A. N., Planktonic fauna of the Kem, Kovda rivers Komulaynen S. F. and their tributaries (The White sea basin, Republic of Karelia, Russia).....	74
Cherepanov A. A., Research of zooplankton communities in the lakes Denisov D. B., of Murmansk city.....	83
Slukovskii Z. I., Vandysh O. I., Postnova S. V.	
Denisov D. B. Phytoplankton of the lakes of the Murmansk Region in the zones of influence of the metallurgical industry	94
Korneykova M. V., Soil microorganisms of the Rybachy Peninsula.....	108
Redkina V. V., Myazin V. A., Fokina N. V., Shalygina R. R.	
Borovichev E. A., Additions to the flora of bryophytes of the Pasvik reserve Boychuk M. A. (Pechenga district, the Murmansk Region, Russia).....	123
Boychuk M. A., Mosses of the Western part of the planned nature Polikarpova N. V. reserve "Vorjema" (the Murmansk Region, Russia).....	127

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Седьмой выпуск «Трудов Кольского научного центра РАН» серии «Прикладная экология Севера» выходит в год двух замечательных юбилеев: 30-летия основания Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН и 70-летия научного руководителя ИППЭС КНЦ РАН Владимира Алексеевича Маслобоева.

Номер журнала открывает юбилейная статья, посвященная жизненному и научному пути В. А. Маслобоева. Большой блок представлен работами по изучению водных экосистем Севера, в которых обобщены многолетние исследования. В этом ряду выделяются две гидрографические статьи — по структуре многолетнего водного баланса антропогенно-преобразованного водоема — оз. Нюдъявр и гидрографии рек и озер в районе Федорово-Панских тундр. Четыре статьи связаны с изучением различных компонентов сообществ северных водоемов — рыбного населения, фито- и зоопланктона. Три статьи содержат результаты исследований наземных экосистем. В одной из них приведены результаты исследований микроорганизмов в органогенном горизонте тундровых почв п-ова Рыбачий. Две другие вносят вклад в познание отдельных флор мохообразных крайнего северо-запада Мурманской области — заповедника «Пасвик» и проектируемого заказника федерального значения «Воръема».

В заключение благодарим рецензентов статей, проделавших большую работу: А. Ф. Балаганского, И. А. Барышева, О. А. Белкину, Е. А. Боровичёва, Н. Л. Болотову, О. И. Вандыш, Д. А. Давыдова, И. В. Зенкову, Н. В. Ильмаста, М. Н. Кожина, С. Ф. Комулайнена, Н. Е. Королеву, Е. Н. Патову, А. В. Толстикова, З. И. Слуковского.

**ПО ЖИЗНИ НА БЕШЕНОЙ СКОРОСТИ.  
(К ЮБИЛЕЮ ВЛАДИМИРА АЛЕКСЕЕВИЧА МАСЛОБОВЕВА)**



Владимир Алексеевич Маслобоев — доктор технических наук, советник председателя Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН», научный руководитель Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН.

Владимир Алексеевич родился 29 мая 1949 году в семье Алексея Ивановича и Анны Пименовны Маслобоевых, в Маймаксанском районе Архангельской области. В настоящее время это один из девяти территориальных округов Архангельска, расположенный в северной части города, на островах дельты Северной Двины.

Алексей Иванович в тот год заканчивал срочную военную службу, которую проходил с 1939 года на Северном флоте. Почти сразу после призыва началась Зимняя война, и он участвовал в боевых действиях. Во время Великой Отечественной войны — охранял подступы к Архангельску со стороны Новой Земли и конвои с гуманитарной помощью, а в конце войны участвовал в операции по освобождению норвежского Киркинеса. Когда же в 1945 году Алексей Иванович обратился к командованию с просьбой об увольнении с военной службы, оказалось, что годы боевых действий в период прохождения срочной военной службы не входят. Поэтому ему пришлось дослужить на Северном флоте еще четыре года.



Маленький Володя с родными.  
Крайний справа — дедушка Пимен Степанович Богданов



Володя с родителями — Анной Пименовной и Алексеем Ивановичем

Мама Владимира Алексеевича — Анна Пименовна Богданова — в годы войны закончила Вельское педагогическое училище. В семье хранятся воспоминания о том, как сестры Анна и Аполлиария, чтобы попасть на учебу в Вельск из родной деревни Кишерма, расположенной в 40 км, осенью сплавлялись на плоту с мешком картошки по реке Вель. По окончании училища сестры отправились в военкомат с требованием отправить их на фронт. Так Анна Пименовна попала в Архангельск.

После увольнения с военной службы Алексей Иванович устроился работать помощником машиниста на Северной железной дороге. Некоторое время семья жила в поселке Лабытнанги в Ямало-Ненецком автономном округе, но затем переехала в поселок Кулой. Маленькому Володе приходилось подолгу жить у дедушки Пимена Степановича Богданова. Суровый и разумный уклад жизни архангельских староверов определил его отношение к миру. Владимир Алексеевич вспоминает, что с четырех лет по воскресеньям дед брал его с собой на службу. Сестры, а их у Владимира было трое, освобождались от этого, но мужчина, хоть и маленький, должен был следовать заведенному порядку. За семь километров в село Хозьмино в любую погоду шел Володя с дедушкой в храм. Службу стоял и обратно за семь километров домой. Дядя Акиндин Пименович, агроном, привил Володе своеобразное отношение к труду. Владимир Алексеевич вспоминает, что дядя Киня терпеть не мог праздных людей. Поэтому летние каникулы у дедушки всегда были заполнены работами на сенокосе, заготовлением дров на зиму или хотя бы рыбной ловлей, которая также считалась мужским занятием.

После седьмого класса Володя пришел к отцу и сказал, что хочет велосипед с «рогами» — спортивный велосипед «Спутник». Алексей Иванович поступил мудро, он пошел с сыном к соседу, начальнику дистанции путей, и попросил того взять четырнадцатилетнего парнишку на работу, чтобы тот смог заработать на велосипед. Месяц Володя заменял пришедшие в негодность шпалы на Кулойском участке железной дороги. Было тяжело, но по завершении он получил два ценных приобретения: велосипед и знание о том, что на все можно заработать.

Среднюю школу Володя окончил в 1966 году с серебряной медалью. Мама просила его стать доктором. Все товарищи уехали в Архангельск поступать в Архангельский медицинский институт. А он отправился в Москву, во второй медицинский институт, где уже училась его двоюродная сестра Люба. Оставив Любу стоять в очереди на прием документов, Володя пошел полюбопытствовать, что за вузы расположены поблизости. Московский педагогический институт его не вдохновил, уж очень маленькая у них была стипендия, а вот Московский институт тонкой химической технологии им. М. В. Ломоносова (МИТХТ), который предлагал более высокую стипендию и где отсутствовала огромная очередь из будущих абитуриентов, показался подходящим. И Володя подал документы в МИТХТ. Как потом оказалось, в их группе не было ни одного не медалиста. Мама, конечно, огорчилась, но Володя пообещал: «Мама, я стану доктором». И стал доктором технических наук в 41 год. Достаточно долго Владимир Алексеевич был самым молодым доктором в Кольском научном центре, пока его рекорд не побил его же сын Андрей Владимирович, защитивший докторскую диссертацию в 33 года.

По окончании института в 1972 году Владимир Алексеевич получил распределение в Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кольского филиала Академии наук СССР. С красным дипломом его взяли на должность «лаборант с высшим образованием». Кроме того, его вузовская характеристика содержала фразу, что, несмотря на блестящую учебу, В. А. Маслбоев был неактивен в общественной жизни. Не ленью или аполитичностью это объяснялось, просто все студенческие годы работал, чтобы не быть в тягость семье. Времена были простые, и его отправили исправляться, сначала в комсомольскую организацию, которую он впоследствии возглавлял четыре года (с 1976 по 1980 годы), а потом и в партийную организацию КФАН. Владимир Алексеевич был секретарем парткома с 1980 по 1983 годы. В эти же годы три созыва подряд он избирался депутатом городского совета.

В 1978 году защитил кандидатскую диссертацию по физической химии в диссертационном совете Института химии силикатов АН СССР в Ленинграде по результатам своих исследований по гидротермальному синтезу редкоземельных силикатов и германатов в растворах гидроксидов рубидия и цезия и изучению свойств синтезированных соединений. После защиты пришлось переключиться на технологические работы по редкоземельному сырью Кольского полуострова. Именно тогда в жизни химика появляются аспекты, связанные с охраной окружающей среды. Недаром в ИХТРЭМСе любят повторять: «Хорошая безотходная технология — это ключ к решению экологических проблем». Он развил важное научное направление по разработке технологических схем комплексной переработки нетрадиционного редкоземельного сырья Мурманской области (лопарит, эвдиалит, перовскит, итробритолит и иттрофлюорит, апатиты различных генераций). Им обоснованы и разработаны новые комбинированные гидрометаллургические методы, основанные на совмещении операций разложения минералов, выщелачивания, конверсии и жидкостной экстракции в одном процессе. Успешно был развит новый для ИХТРЭМСа метод ионной флотации для извлечения редкоземельных элементов из полупродуктов переработки минерального сырья Кольского полуострова, электромембранные процессы, включая рекуперацию кислот и щелочей из сбросных растворов, безреагентные процессы осаждения высококислых гидроксидов и основных солей в редкометаллическом производстве. Он внес большой вклад в физикохимию и направленный неорганический синтез соединений редких и редкоземельных элементов. Им исследованы и разработаны методы получения комплексных редкоземельных модификаторов чугуна и стали, полирующих материалов, сорбентов для борьбы с разливами нефти. Предложены и обоснованы новые методы синтеза и выращивания монокристаллов силикатов, германатов и конденсированных фосфатов редкоземельных элементов с заданными оптическими и спектральными свойствами, а также получения стекол на их основе для расширения областей применения редкоземельных элементов.



Аппарат управления Кольского филиала АН СССР. 31 декабря 1986 года



В. А. Маслобоев и Д. А. Гранин

В 1990 году этого материала с избытком хватило на защиту диссертации по разработке методов выделения редкоземельных элементов из минерального сырья Кольского полуострова и получения материалов на их основе. Защищался в родном институте — МИТХТ.

В 1995 году жизнь Владимира Алексеевича сделала крутой поворот — четыре года он служил в Посольстве РФ в Королевстве Норвегия в должности первого секретаря Посольства — атташе по науке. В эти непростые годы он способствовал успешному развитию научно-технического и экономического сотрудничества со Скандинавскими странами, особенно в решении экологических проблем Баренцевого Евро-Арктического региона, повышения ядерной и радиационной безопасности. «В Посольстве меня научили писать. Кратко, четко и по существу излагать свои мысли», — вспоминает Владимир Алексеевич.

После возвращения в Кольский научный центр в 1999 году был назначен на должность заместителя председателя Центра по научно-инновационной деятельности. В начале 2001 года по просьбе председателя КНЦ академика В. Т. Калининкова возглавил Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС). За 15 лет руководства институтом (с 2001 по 2016 годы), были выведены на новый качественный уровень многие направления исследований. По инициативе Владимира Алексеевича в институте развиваются междисциплинарные исследования на стыке наук о Земле и биологических наук: теоретическое и экспериментальное обоснование методов биорекультивации отвалов промышленных отходов; биотехнологии извлечения металлов; очистки и ремедиации природных и техногенных сред от нефтяных и других загрязнителей. Расширяется сотрудничество с ведущими учреждениями РАН и Кольского научного центра. В последние годы особый акцент сделан на междисциплинарные исследования, направленные на поиск путей повышения социальной и экономической устойчивости добычи и переработки минерального сырья в Арктике в контексте сохранения природы. В институте были выращены собственные научные кадры, сейчас это молодые, но уже доказавшие свою состоятельность остепененные ученые.



В. А. Масlobоев на виражах жизни

Под руководством Владимира Алексеевича был осуществлен ряд масштабных для Баренцева региона проектов, укрепивших авторитет института. Важнейшим среди них являются работы по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) газопровода Видяево – Волхов в рамках проекта освоения Штокманского месторождения в 2006–2008 годах. Позже ОВОС был проведен по палладий-платиновому месторождению Федоровых тундр и Сопчеозерскому хромитовому месторождению.

По инициативе Владимира Алексеевича было налажено тесное сотрудничество ИППЭС с ведущими предприятиями Мурманской области: АО «Апатит», АО «Кольская ГМК», АО «Ковдорский ГОК», АО «Олкон», ООО «Ловозерский ГОК», Кольская АЭС, филиал «Кольский» ОАО «ТГК-1».

Владимир Алексеевич стал инициатором проведения регулярных конференций «Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения» (с 2004 года), которые собирают десятки экологов из России, ближнего зарубежья, Скандинавских стран.

В. А. Маслобоев — профессор Мурманского арктического государственного университета, где читает курсы лекций по материаловедению и материалам электронной техники, теории тепловых свойств веществ; профессор Мурманского государственного технического университета, где читает курсы по гидрометаллургическим процессам, устойчивому развитию, современной минерально-сырьевой базе. Создал и руководит магистерской программой по прикладной геоэкологии. Под его руководством защищено четыре кандидатских диссертации.

Владимир Алексеевич входит в редакционные советы журналов «Вестник Кольского научного центра РАН» и «Труды Кольского научного центра РАН»; редколлегии журналов «Труды Карельского научного центра РАН» серия «Экологические исследования», «Север и рынок», «Север и Арктика», «Вестник Мурманского государственного технического университета» секция наук о Земле; а также «Parents Newsletter on Occupational Health and Safety» (в 2005–2015 годы); член научно-издательского совета «Кольская энциклопедия». Он действительный член Российской академии естественных наук (РАЕН), председатель Мурманского регионального отделения РАЕН.

За высокие достижения в развитии научного и кадрового потенциала региона в 1986 году награжден медалью «За трудовую доблесть», в 2010 году — орденом Дружбы, в 2018 году — знаком отличия «За заслуги перед Мурманской областью». Предмет особой гордости Владимира Алексеевича — звание Почетного доктора Северного (Арктического) федерального университета (САФУ), присвоенное ему Ученым советом САФУ в 2017 году, все же Архангельск — его «малая родина».

«Я — счастливый человек! У меня в жизни всегда было только два хобби: работа и езда на автомобиле с большой скоростью на длинные расстояния», — говорит Владимир Алексеевич.

Коллеги, друзья и ученики поздравляют Владимира Алексеевича с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, новых интересных проектов и творческого долголетия!

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.13-30  
УДК 624.131.41

**В. А. Даувальтер, Н. А. Кашулин**

*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН*

## **ФОНОВЫЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕРА ИМАНДРА**

### **Аннотация**

Исследованы фоновые содержания элементов в донных отложениях оз. Имандра, для чего отбирались их колонки и проводился послойный анализ содержания элементов. Определены содержания тяжелых металлов (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Cr), щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca, Mg, Sr), Al и P. Определение фонового (доиндустриального) уровня содержания элементов проводили в самых глубоких частях колонок донных отложений. Предложено районирование акватории озера после построения картосхем пространственного распределения элементов с использованием ГИС-технологий.

### **Ключевые слова:**

*тяжелые металлы, донные отложения, озеро Имандра.*

**V. A. Dauvalter, N. A. Kashulin**

*Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS*

## **BACKGROUND LEVELS OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE SEDIMENTS OF THE IMANDRA LAKE**

### **Abstract**

The background levels of chemical elements in sediments of the Imandra Lake were investigated. For this purpose, core samples were collected and levels of chemical elements were measured by layers. Levels of heavy metals (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Cr), alkaline and alkaline-earth metals (Na, K, Ca, Mg, Sr), as well as Al and P were detected. Background (preindustrial) levels of the chemical elements were measured in the deepest layers of sediment cores. Zoning of the Imandra lake was carried out based on schematic distribution maps of chemical elements with the use of GIS technologies.

### **Keywords**

*heavy metals, bottom sediments, Imandra Lake.*

### **Введение**

Сравнительная оценка уровней содержания химических элементов и их соединений в различных компонентах окружающей среды может осуществляться путем сравнения их с нормативными параметрами. В экологической геохимии в качестве специфических нормативных величин используются фоновые уровни химических элементов и их соединений. Под геохимическим фоном (фоновым содержанием, природным фоном, природным или естественным содержанием) понимается средняя концентрация того или иного элемента в природных телах (компонентах), определенная по данным изучения естественного распределения с учетом вариаций в пределах однородного в ландшафтно-геохимическом отношении участка, не затронутого техногенезом. На практике это, как правило, участки, расположенные вне зоны прямого техногенного влияния [Сает и др., 1990; Янин, 1999].

Как известно, водоемы служат коллекторами всех видов загрязнения. Донные отложения (ДО) накапливают «сведения» о потоках элементов в биосфере в историческом аспекте [Förstner, Wittmann, 1981; Melnikov, 1991]. Они являются важным источником информации о климатических, геохимических, экологических условиях, существовавших на водосборе и в самом водоеме, позволяют оценить современное экологическое состояние воздушной и водной сред.

В настоящее время в России не разработаны нормативы содержания элементов и их соединений в ДО водоемов. Поэтому одной из основных задач эколого-геохимических исследований является определение фоновых концентраций элементов в ДО малых озер Мурманской области с учетом региональной специфики [Даувальтер, 1999, 2012; Даувальтер, Кашулин, 2014], озер Республики Татарстан [Иванов и др., 2010], Латвии [Kadūnas, Radzevičius, 2003], Скандинавии [Håkanson, 1980; 1984], так и для крупных водоемов — шведских озер [Håkanson, 1977], швейцарского озера [von Guten et al., 1997].

Целью статьи является установление фоновых концентраций элементов в ДО оз. Имандра и проведение районирования акватории озера на основе анализа их территориального распределения.

### **Материалы и методы**

Озеро Имандра расположено на северо-западе европейской территории России. Котловина озера находится в глубокой тектонической депрессии, которая простирается с севера на юг от Кольского залива Баренцева моря до Кандалакшского залива Белого моря [Моисеенко и др., 2002]. Эта депрессия делит Мурманскую область на две части: западную — материковую и восточную — полуостровную. Оз. Имандра — самый крупный водоем в Мурманской области и один из крупнейших в Заполярье (рис. 1). Антропогенные факторы, которые в последние годы по значимости становятся сопоставимыми с природными, влияют на экологическое состояние озера в результате непосредственного сброса сточных вод и неорганизованных стоков, а также вследствие глобальных изменений окружающей среды и климата. Наличие уникальных месторождений полезных ископаемых и удобное расположение на пути основных транспортных магистралей вызвало развитие мощного индустриального комплекса на территории водосбора оз. Имандра, что привело к высокой антропогенной нагрузке на водоем. Среди основных производств выделяются следующие: горнодобывающая промышленность (АО «Апатит»), металлургическая промышленность (цветная металлургия — ОАО «Североникель»; черная металлургия — ОАО «Олкон» и ОАО «Ковдорский ГОК»), энергетический комплекс (каскад Нивских ГЭС, Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ), а также хозяйственно-бытовые стоки городов Оленегорска, Мончегорска, Кировска, Апатитов и других населенных пунктов, расположенных на водосборе озера.

Исследования оз. Имандра, в том числе и экологические, начались с момента освоения территории Мурманской области. Масштабные работы проводились в 1920-е гг., и по результатам работы Имандрской экспедиции Географо-экономического научно-исследовательского института при ЛГУ в 1925–1927 гг. Г. Д. Рихтером [1934] было дано первое и довольно подробное описание оз. Имандра. Детальные исследования состояния ДО оз. Имандра выполняются со времени организации ИППЭС КНЦ РАН в 1989 г. сотрудниками лаборатории водных экосистем. Подробная съемка озера, в том числе с отбором ДО, была проведена в середине 1990-х гг. [Моисеенко и др., 2002] и в 2010–2012 гг. При написании данной работы использовали результаты съемки озера 2010–2012 гг.

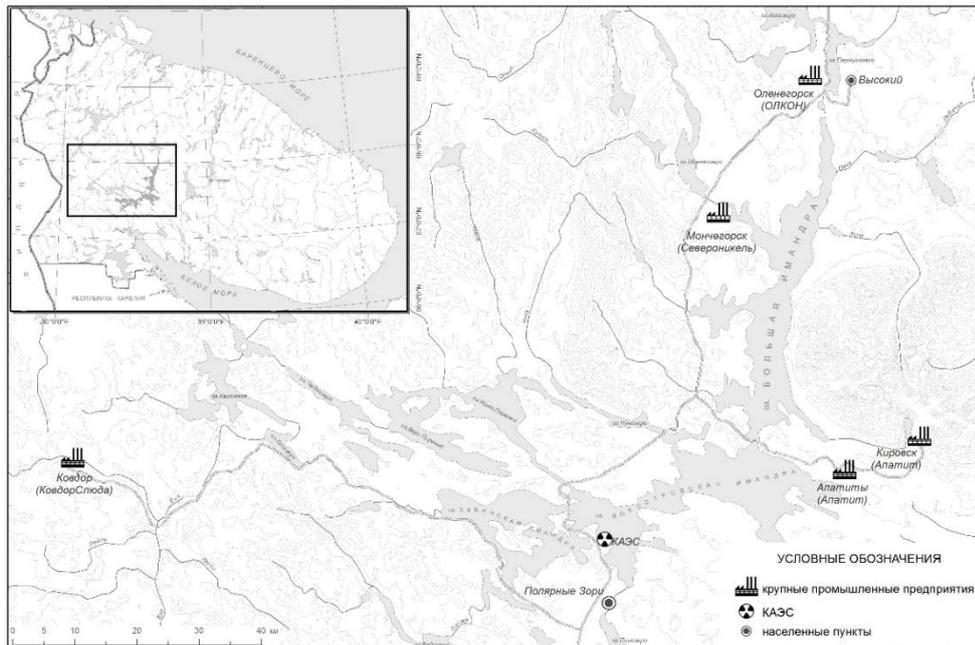


Рис. 1. Карта оз. Имандра. Расположение крупных населенных пунктов и промышленных предприятий на его водосборе

Для оценки современного экологического состояния оз. Имандра и изучения истории его развития и загрязнения был исследован химический состав ДО методом отбора колонок и послойного анализа накопления элементов. Определяли содержания тяжелых металлов (ТМ) Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Cr), щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca, Mg, Sr), Al и P. Методы отбора колонок ДО, пробоподготовки и химического анализа описаны ранее (Даувальтер, 1999, 2012). При определении мест отбора колонок ДО основное внимание уделяли акваториям, в которые непосредственно поступают сточные воды предприятий: комбината «Североникель» (Монче-губа), Оленегорского ГОКа (Куреньга губа), АО «Апатит» (Белая губа и южная часть Большой Имандры), Африкандского рудоуправления (Зашеечная губа), Кольской АЭС (Молочная губа и восточная часть Бабинской Имандры). Акваторию западной части Бабинской Имандры (Уполокша и Камка губы) рассматривали как относительно незагрязненную, не подверженную непосредственному влиянию сточных вод, хотя водосбор этой части озера испытывает аэротехногенное загрязнение. Акватория влияния промышленных стоков АО «Апатит» была исследована более подробно в 2012 г., когда колонки ДО отбирали на 12 станциях.

### **Методологические подходы к определению фоновых концентраций элементов в донных отложениях**

При оценке экологического состояния водоемов одним из важных вопросов является установление фоновых концентраций элементов в ДО. Для определения интенсивности антропогенной нагрузки на водоем, как правило, современные содержания элементов в ДО сравнивают с их фоновыми содержаниями. Для решения этой проблемы существует два подхода:

1) установление основных геохимических фоновых уровней элементов (кларков), основываясь на данных А. П. Виноградова [1962], К. Турекиана и К. Уидепола [Turekian, Wedepohl, 1961], а также К. Уидепола [Wedepohl, 1995];

2) определение доиндустриального уровня содержания элемента в самых глубоких частях колонки ДО [Förstner, 1977].

В первом случае игнорируются местные особенности формирования ДО, во втором эти особенности подчеркиваются. Для определения степени загрязнения озер первый подход является более приемлемым, потому что изменчивость фоновых значений может быть очень существенной даже внутри одного водоема или однотипных озер. Главным преимуществом данного метода является сокращение объема работ, то есть для изучения антропогенного влияния на водоем достаточно отбора только поверхностного слоя ДО из зон аккумуляции, а недостатком — получение менее точных данных по изменению концентраций с течением времени, так как не отбирается целая колонка ДО, по результатам анализа которой можно изучить историю событий, происходящих в самом озере и на его водосборе. При исследовании ДО оз. Имандра, как правило, на каждой станции отбирали колонки ДО, поэтому есть возможность определения фонового содержания элементов в каждой из них. Тем не менее очень важно определить и средние значения фоновых концентраций элементов в ДО озер отдельного района или области для возможности использования первого подхода в целях экономии средств при проведении химических анализов и оценке экологического состояния водоемов, например, для определения возможности использования данного водоема с целью водопотребления, рыбозаповедения, рекреации.

Согласно исследованиям Н. М. Страхова [Страхов и др., 1954], в основе механизма, контролирующего интенсивность поступления материала, а следовательно, и элементов в озера лежит чисто геометрический фактор: отношение между площадью водосбора и самим водоемом, но влияние этого фактора осложнено воздействием климата, рельефа и петрографического состава водосборной площади. Н. М. Страховым выявлена закономерность роста относительной площади водосборов с уменьшением размеров озер и их водосборов. Это правило не имеет строго математического характера, но, принимая во внимание, что масса сносимого материала в первом приближении пропорциональна площади сноса, можно заключить, что интенсивность поступления материала с уменьшением размера озера в общем возрастает.

Для установления интенсивности антропогенной нагрузки на озеро и степени его загрязнения необходимо знать природные концентрации элементов в ДО, которые существовали до любой деятельности на берегах озера или его водосбора. Для этого часто используются величины фоновых концентраций элементов в ДО, которые определяются, как правило, в самых нижних, глубоких, частях колонок ДО. Средняя скорость осадконакопления в озерах Северной Фенноскандии (и Мурманской области в том числе) оценивается равной примерно 1 мм в год, а в аэротехногенно загрязняемых озерах находится в пределах от 0,3 до 1,25 мм/год [Norton et al., 1996; Rognerud et al., 1993]; в озерах, загрязняемых стоками промышленных предприятий, например, Куэтсьярви — в диапазоне 1,5–3 мм/год [Даувальтер, 2002; Dauvalter, 2003]. При исследовании состояния ДО оз. Имандра отбирали колонки ДО длиной 20–25 см. Следовательно, можно предположить, что в нижних слоях колонок должны быть зафиксированы природные фоновые содержания элементов. Хотя в акваториях поступления большого количества взвешенного материала со стоками промышленных предприятий (главным образом, рудников и обогатительных фабрик АО «Апатит») скорость осадконакопления значительно увеличилась, длины некоторых колонок, возможно,

было недостаточно, чтобы оценить фоновые, доиндустриальные слои. Поэтому при определении средних фоновых концентраций элементов в ДО оз. Имандра некоторые содержания не учитывались, так как эти значения были, явно, выше фоновых, например, на станциях, близко расположенных к месту поступления стоков АО «Апатит» (станции в Белой губе) и комбината «Североникель» (станции в Монче-губе). Колонки ДО отбирали в последние четверть века. Для проведения анализов на содержание элементов использовали высокоточные приборы атомно-абсорбционной спектрофотометрии, поэтому есть возможность определить фоновые концентрации элементов по результатам исследований последних лет с достаточно большой точностью.

### **Фоновые содержания элементов в донных отложениях озера Имандра**

В таблице 1 показаны фоновые концентрации элементов в ДО оз. Имандра по результатам исследований 1990-х гг. (Моисеенко и др. [2002], с некоторыми дополнениями и изменениями, и 2000-х гг. (современные данные), а также среднее содержание элементов в осадочных породах по А. П. Виноградову [1962], для пятидесяти скандинавских озер [Håkanson, 1980; 1984] и двухсот малых озер Мурманской области (с дополнениями и изменениями по Даувальтеру и Кашулину [2014]).

Сопоставление средних фоновых содержаний микроэлементов (Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr, которые приведены в таблице 1 в мкг/г сух. веса) в ДО оз. Имандра по результатам исследований 1990-х и 2000-х гг. показало, что в 2000-х гг. значения для большинства микроэлементов несколько ниже, что, возможно, связано с использованием более совершенного оборудования, позволяющего более точно определять концентрации микроэлементов при малых их величинах. Например, концентрации Cd и Pb.

По остальным микроэлементам средние фоновые содержания в 2000-х гг. оказались несколько ниже, за исключением Co, Cr и Sr (значения увеличились в 1,4, 1,1 и 2,0 раза соответственно). Возможно, это связано с тем, что на отдельных акваториях озера станции отбора колонок ДО в 1990-х и 2000-х гг. не полностью совпадали по количеству и по месту отбора, хотя общее количество колонок, отобранных отдельно в 1990-х и 2000-х гг., было около 30.

По макроэлементам наблюдается другая картина — средние фоновые содержания в 2000-х гг. несколько увеличились (кроме Mn), причем по Ca почти в 7 раз. Вероятно, это связано с тем, что в 2000-х гг. несколько увеличилось число исследованных станций в Большой Имандре и на акватории, примыкающей к месту впадения рек, водосборы которых находятся в Хибинских горах. Как известно, в геологическом отношении Хибин — щелочной массив с высоким содержанием в коренных породах щелочных и щелочноземельных металлов (K, Na, Ca, Mg и Sr) и Al.

Средние фоновые концентрации большинства элементов в ДО двухсот малых озер Мурманской области немного меньше средних содержаний в оз. Имандра (табл. 1). Это, вероятно, связано с меньшим содержанием органического материала в оз. Имандра по сравнению с малыми озерами (почти в 2 раза, см. табл. 1), а также с наличием большого количества месторождений и залежей полезных ископаемых и выходов коренных скальных пород на водосборе оз. Имандра, тогда как водосборы основной части малых озер Мурманской области сверху покрыты четвертичными (в основном ледниковыми) отложениями, довольно хорошо промытыми и бедными микроэлементами и щелочными и щелочноземельными металлами и Al, из которых состоят основные породообразующие минералы.

Таблица 1

Средние (X), минимальные (Min) и максимальные (Max) фоновые значения влажности и потерь при прокаливании (H<sub>2</sub>O и ППП, %), фоновые концентрации элементов (микроэлементы Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr — в мкг/г, макроэлементы Mn, Fe, Al, P, K, Na, Ca, Mg — в %)

Параметр	ОП	СО	МО			Оз. Имандра, 1990-е гг.			Оз. Имандра, 2000-е гг.		
			X	Min	Max	X	Min	Max	X	Min	Max
H <sub>2</sub> O	–	–	–	–	–	73,7	59,9	84,2	80,4	56,8	91,1
ППП	–	–	24,0	0,9	88,9	12,6	4,7	21,7	13,8	3,6	27,9
Cu	57	28,7	28	2	94	39	28	65	38	13	67
Ni	95	49,7	27	4	101	52	29	161	42	21	70
Zn	80	110,6	94	3	274	97	69	128	92	59	160
Co	20	18,5	13	1	69	14	3	28	17	6	28
Cd	0,3	0,58	0,24	0,01	1,70	1,45	0,86	2,78	0,15	0,05	0,31
Pb	20	34,9	4,4	0,4	17,0	14,3	5,0	25,0	5,1	1,4	11,5
As	6,6	8,6	3,2	0,1	13,7	–	–	–	4,7	1,3	13,3
Hg	0,4	0,12	0,037	0,003	0,112	0,071	0,003	0,190	0,044	0,005	0,103
Cr	100	48,7	49	4	1007	63	32	95	70	16	107
Sr	450	–	49	2	299	38	3	127	79	17	721
Mn	0,067	0,086	0,050	0,006	0,447	0,224	0,042	1,175	0,163	0,010	0,719
Fe	3,33	2,67	2,43	0,054	1,47	3,21	1,40	6,07	3,34	0,18	14,53
Al	10,45	2,6	1,97	0,227	6,76	2,30	1,33	3,44	2,52	1,24	4,26
P	0,077	–	0,113	0,006	0,508	–	–	–	0,180	0,060	0,644
K	2,28	–	0,159	0,012	1,16	0,156	0,067	0,298	0,194	0,090	0,344
Na	0,66	–	0,045	0,004	0,432	0,056	0,023	0,125	0,089	0,027	0,197
Ca	2,53	–	0,283	0,005	1,45	0,077	0,019	0,297	0,529	0,130	1,395
Mg	1,34	–	0,381	0,025	6,07	0,378	0,185	0,697	0,410	0,212	0,633

Примечания: 1. В ДО оз. Имандра, отобранных в 1990-е и 2000-е гг., скандинавских озер (СО, Håkanson (1980, 1984)) и малых озер Мурманской области (МО, с дополнениями и изменениями по: Даувальтер [1999, 2012]; Даувальтер, Кашулин[2014]).

2. ОП — среднее содержание в осадочных породах [по Виноградову, 1962].

В скандинавских озерах средние фоновые концентрации большинства элементов в ДО сопоставимы с таковыми в оз. Имандра (табл. 1), но содержание халькофильных элементов (Cd, Pb, As и Hg) выше. Объяснение этому лежит в усовершенствовании аналитического оборудования в последнее время по сравнению с концом 1970-х гг., когда были проведены исследования скандинавских озер [Håkanson, 1980; 1984]. Этим объясняется также и то, что средние фоновые содержания этих элементов в ДО оз. Имандра по результатам последних исследований ниже, чем в 1990-х гг. (табл. 1).

Материал, образующий ДО озер, поступает из водной толщи и приносится как с территории водосбора (аллохтонный), так и образуется в самом озере (автохтонный). В то же время ДО в результате дальнейших преобразований и диагенетических процессов образуют осадочные горные породы. Поэтому ДО водоемов (в том числе и озер) можно рассматривать как связующее звено между гидросферой и литосферой. Академик А. П. Виноградов [1962] определил среднее содержание элементов в осадочных горных породах на основе анализа глин и сланцев. Анализируемые нами ДО по гранулометрическому составу представляют собой глинистые илы [Югай и др., 2012, а, 2012, б], то есть очень близки к глинам и сланцам, поэтому содержание элементов в ДО водоемов разумно сопоставлять с их содержанием в осадочных горных породах. Большинство элементов в осадочных горных породах в среднем находятся в большем количестве, чем в фоновых слоях ДО оз. Имандра (табл. 1). Вероятно, это связано с тем, что ДО состоят не только из минеральных, но также и из органических веществ (в оз. Имандра до 30 %), которые «разбавляют» общее содержание элементов. Вместе с тем средние фоновые концентрации Mn в ДО больше, а для Fe подобно их содержанию в осадочных горных породах. Относительное обогащение этими металлами связано с особыми геохимическими условиями в ДО оз. Имандра в первую очередь окислительно-восстановительными, при которых идет образование железомарганцевых конкреций при окислительной обстановке [Даувальтер, Ильяшук, 2007] и пирита (сульфида железа) в восстановительной обстановке [Нерадовский и др., 2009]. Примерно в равных количествах в ДО оз. Имандра и осадочных породах отмечено содержание других элементов (Co и As (табл. 1)), чутко реагирующих на изменение окислительно-восстановительных условий, что, возможно, связано с образованием в ДО минералов этих элементов.

Для установления влияния природных факторов на формирование химического состава элементов в фоновых слоях ДО и связи элементов между собой проведены корреляционный и факторный анализы (табл. 2 и 3). Тесная связь глубины станций с содержаниями Fe, а также положительное, довольно высокое значение коэффициента корреляции глубины с Mn объясняется образованием железомарганцевых конкреций на большой глубине, как это было отмечено более ранними исследованиями [Даувальтер, Ильяшук, 2007]. Другие природные факторы такие, как влажность и содержание органического материала зависят в первую очередь от гранулометрического состава частиц ДО. Неуплотненные тонкодисперсные осадки (глинистые и алевритовые илы), имеющие размеры частиц менее 0,01 мм, обладают большой пористостью и значительной влажностью, а ДО с более крупными частицами, песчаными илами и песками, имеют соответственно меньшую пористость и влажность.



Таблица 3

Факторная модель химического состава фоновых ДО оз. Имандра

Параметры	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Глубина	-0,042	<b>0,680</b>	0,201
Влажность	<b>0,882</b>	-0,076	0,094
Органический материал	<b>0,605</b>	-0,386	-0,359
Cu	<b>-0,704</b>	0,262	-0,557
Ni	<b>-0,718</b>	0,050	0,064
Zn	0,038	-0,120	<b>-0,747</b>
Co	-0,261	<b>0,773</b>	-0,473
Cd	0,189	-0,008	<b>-0,786</b>
Pb	-0,014	-0,205	-0,372
Mn	-0,060	<b>0,696</b>	0,109
Fe	0,072	<b>0,884</b>	0,151
Sr	<b>-0,941</b>	-0,145	-0,021
Cr	0,537	0,494	-0,419
Al	<b>-0,941</b>	-0,045	0,075
As	-0,097	<b>0,690</b>	0,213
Hg	-0,433	-0,067	-0,131
P	<b>-0,953</b>	-0,045	-0,048
K	<b>-0,964</b>	-0,068	0,041
Na	<b>-0,944</b>	-0,136	0,009
Ca	<b>-0,975</b>	-0,127	-0,010
Mg	-0,240	0,456	-0,086
Вес фактора, %	40,2	17,2	15,0

Значения влажности и потерь при прокаливании (ППП) имеют достоверную отрицательную корреляцию с содержанием щелочных и щелочноземельных металлов, Al и P, в больших количествах поступающими с водосбора Большой и Малой Белой в южную часть Большой Имандры. Эти элементы, содержащиеся в горных породах Хибинского щелочного массива и в залежах апатитонепелиновых руд, поступают в озеро главным образом в виде довольно крупных взвешенных частиц, осаждение которых в акватории южной части Большой Имандры способствует формированию ДО с небольшими величинами влажности и ППП.

Органический материал в водных системах характеризуется следующими важными с точки зрения поглотительной способности свойствами: увеличение адсорбционной способности с уменьшением размера частиц; большая площадь поверхности; высокая емкость катионного обмена; высокий отрицательный заряд поверхности; способность к физическому улавливанию. Р. Джиббс [Gibbs, 1973] подчеркивает важность органических молекул в контроле концентраций ТМ во взвешенных веществах и ДО, а также во взаимодействии между водой и ДО. Способность органического материала концентрировать ТМ изменяется в зависимости от состава и типа органического материала.

Значения ППП как показателя содержания органического материала из ТМ имеют достоверную положительную корреляцию только с Ni ( $r = 0,44$ ) и немного меньшую с Cd (табл. 2), с другими ТМ зависимость не достоверна. Это, возможно, связано, как было сказано выше, с поступлением в озеро крупных взвешенных частиц из горных массивов, которые содержат малое количество органического материала, а также с малой продуктивностью исходно олиготрофного озера.

Практически все ТМ (Ni, Cu, Co, Cd) имеют достоверную связь друг с другом, что говорит о едином источнике их поступления, вероятно, им являются залежи сульфидных руд Мончегорского района. Щелочные (Na и K) и щелочноземельные (Ca, Mg и Sr) металлы, Al и P имеют достоверную положительную корреляционную связь между собой. Ко второй группе присоединяется также Hg и Cu (табл. 2). Предполагаем, что элементы второй группы в больших количествах поступают с водосбора Большой и Малой Белой в южную часть Большой Имандры из апатитонефелиновых залежей и месторождений.

Для определения факторов, имеющих наибольшее влияние на формирование химического состава фоновых ДО оз. Имандра, проведен факторный анализ (табл. 3).

Первый фактор, имеющий больший вес (40 %), объединяет физические параметры ДО (влажность и ППП), которые зависят в первую очередь от гранулометрического состава ДО, и элементы, образующие залежи и месторождения (медно-никелевых и апатитонефелиновых руд), а также содержащиеся в повышенных концентрациях в породообразующих минералах горных пород, слагающих водосбор оз. Имандра, — ТМ Cu и Ni (Монче-тундры), щелочные и щелочноземельные металлы K, Na, Sr, Ca, а также Al и P (Хибинский щелочной массив). Вторым по силе влияния фактором (вес 17 %) являются элементы, чутко реагирующие на изменение физико-химических условий, существующих в ДО, — Fe, Mn, Co и As, а также такой параметр, как глубина озера, от которого зависят геохимические условия в толще воды и ДО. Только два ТМ — Zn и Cd — имеют значимые коэффициенты в третьем факторе (вес 15 %), что также связано с повышенным содержанием этих металлов в горных породах, слагающих водосбор озера. Обычно в природных условиях цинк связан с образованием сфалерита ZnS, а кадмий — типичная примесь этого минерала.

Таким образом, с помощью корреляционного и факторного анализов выявлены две группы элементов: первая группа — ТМ, вторая — щелочные (Na и K) и щелочноземельные (Ca, Mg и Sr) металлы, Al и P. Эти группы элементов содержатся в повышенных содержаниях в породообразующих минералах горных пород, слагающих водосбор оз. Имандра: первая группа — в северной части водосбора (Монче-тундры), вторая группа — в юго-восточной части водосбора (Хибинский щелочной массив).

Для выявления различий в значениях фоновых концентраций в акваториях озера рассчитаны значения средних содержаний элементов в северной и южной частях Большой Имандры и отдельно в акваториях Йокостровской и Бабинской Имандры (табл. 4).

Наибольшие средние содержания ТМ (кроме Co, Pb и As) отмечены в северной части Большой Имандры, к которой, приурочены медно-никелевые залежи Монче-тундры (табл. 4, рис. 2).

В южной части Большой Имандры зафиксированы наибольшие средние содержания Al (рис. 3) и P, а также Ca, Na и Sr (рис. 4, табл. 4), что связано с поступлением поверхностного стока, обогащенного этими элементами, с водосбора, на котором расположены залежи апатитонефелиновых руд. Апатит,  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ , и нефелин,  $(\text{Na}, \text{K})\text{AlSiO}_4$ , — это минералы, содержащие вышеперечисленные элементы. Минерал апатит также содержит примеси Mn, Fe, Sr, Al, Th, редкоземельных элементов.

Таблица 4

Средние (X), минимальные (Min) и максимальные (Max) фоновые значения влажности и потерь при прокаливании (H<sub>2</sub>O и ППП, %), фоновые концентрации элементов (микроэлементы Cu, Ni, Zn, Co, Cd, Pb, As, Hg, Cr, Sr — в мкг/г, макроэлементы Mn, Fe, Al, P, K, Na, Ca, Mg — в %) в ДО разных плесов оз. Имандра, отобранных в 2000-е гг.

Параметры	Север Большой Имандры			Юг Большой Имандры			Йокостровская Имандра			Бабинская Имандра		
	X	Min	Max	X	Min	Max	X	Min	Max	X	Min	Max
Глубина	11,6	8,5	19,0	14,1	10,0	21,0	14,4	4,9	26,5	24,7	17,0	38,4
Влажность	83,21	77,80	85,83	74,28	56,75	81,15	85,21	81,27	91,10	76,71	70,74	80,58
ППП	20,59	14,79	25,75	10,50	3,57	13,79	15,54	11,00	27,87	8,97	4,32	12,10
Cu	50	16	98	35	23	51	35	13	55	51	40	67
Ni	150	49	351	34	26	51	35	21	59	55	42	70
Zn	111	62	179	102	83	123	84	59	160	97	83	140
Co	19	11	33	18	13	23	10	6	15	24	17	28
Cd	0,21	0,07	0,37	0,15	0,05	0,25	0,15	0,05	0,31	0,14	0,10	0,19
Pb	4,7	2,2	9,2	8,3	2,9	11,5	4,7	1,4	8,2	4,3	3,6	5,4
As	2,4	1,3	3,2	6,8	4,2	9,0	4,1	1,7	7,9	4,8	1,6	13,3
Hg	0,063	0,014	0,110	0,020	0,005	0,040	0,050	0,022	0,088	0,034	0,010	0,058
Mn	0,163	0,029	0,383	0,153	0,035	0,285	0,189	0,014	0,719	0,130	0,010	0,264
Fe	2,29	1,10	2,88	1,76	0,18	2,56	4,07	1,35	14,53	4,31	3,22	6,39
Sr	42	17	76	168	112	224	48	35	95	35	31	43
Cr	68	47	96	53	16	75	65	50	88	94	86	107
Al	1,92	1,36	2,82	3,86	3,35	4,26	2,09	1,24	2,62	2,65	2,44	2,96
P	0,187	0,167	0,221	0,211	0,073	0,514	0,148	0,060	0,311	0,208	0,098	0,644
K	0,145	0,090	0,180	0,276	0,226	0,344	0,136	0,101	0,167	0,315	0,313	0,317
Na	0,133	0,054	0,190	0,144	0,076	0,197	0,047	0,027	0,060	0,053	0,049	0,059
Ca	0,460	0,130	0,826	0,822	0,494	1,395	0,439	0,130	0,695	0,522	0,484	0,587
Mg	0,346	0,311	0,375	0,503	0,425	0,538	0,311	0,212	0,379	0,628	0,620	0,633

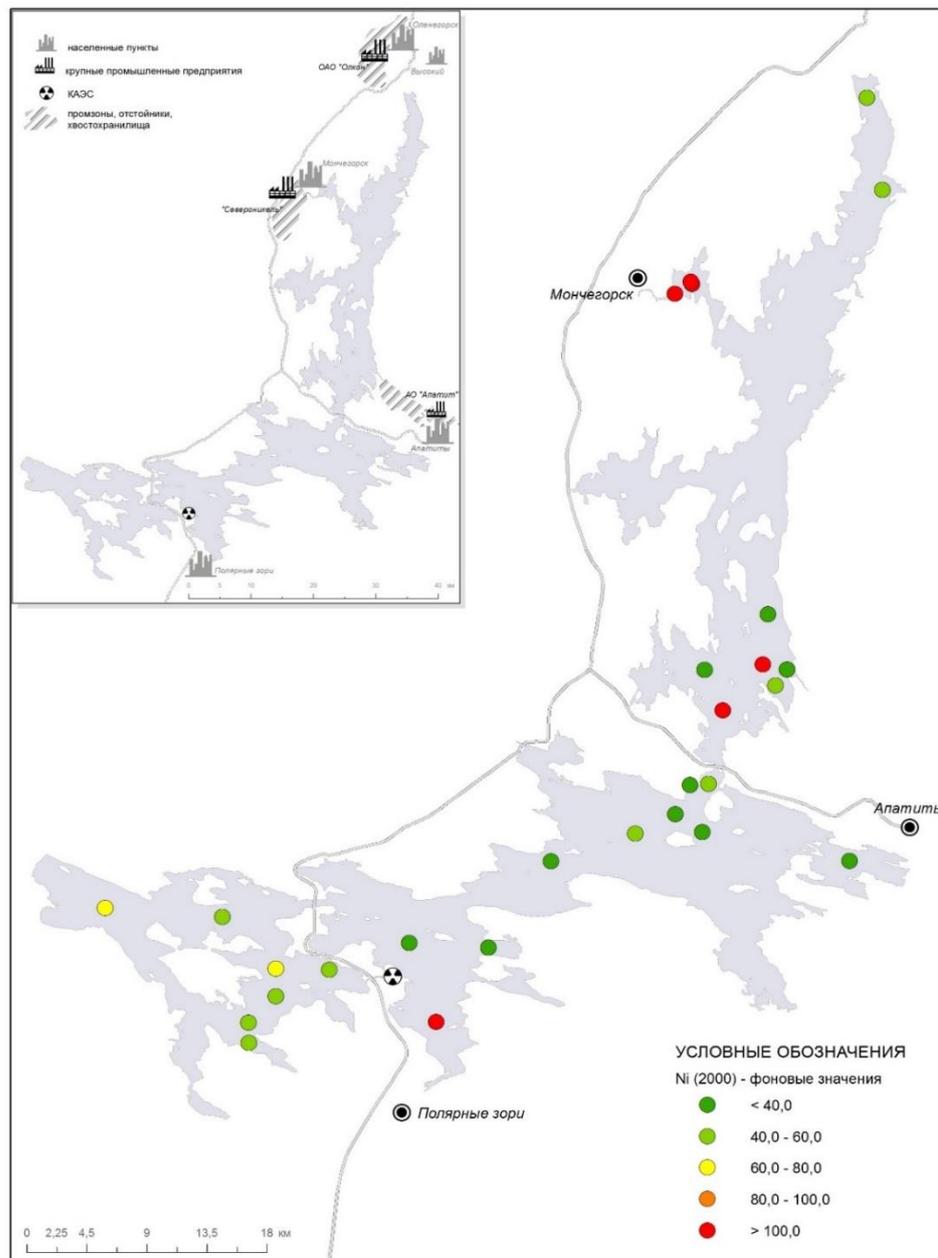


Рис. 2. Фоновые содержания Ni (мкг/г) в ДО оз. Имандра по результатам исследований 2000-х гг.

Максимальные содержания редкоземельных элементов в ДО, отобранных в середине 1990-х гг. на станции в 5 км к югу от пролива между Большой и Йокостровской Имандрой, отмечены в слое 7—8 см, что по времени осадконакопления соответствует интенсивному росту в 1970-е гг. апатитонефелинового производства, в технологическом цикле которого используются руды с повышенным содержанием РЗЭ [Даувальтер и др., 1999]. В южной части Большой Имандры зафиксированы также наибольшие средние содержания Pb и As.

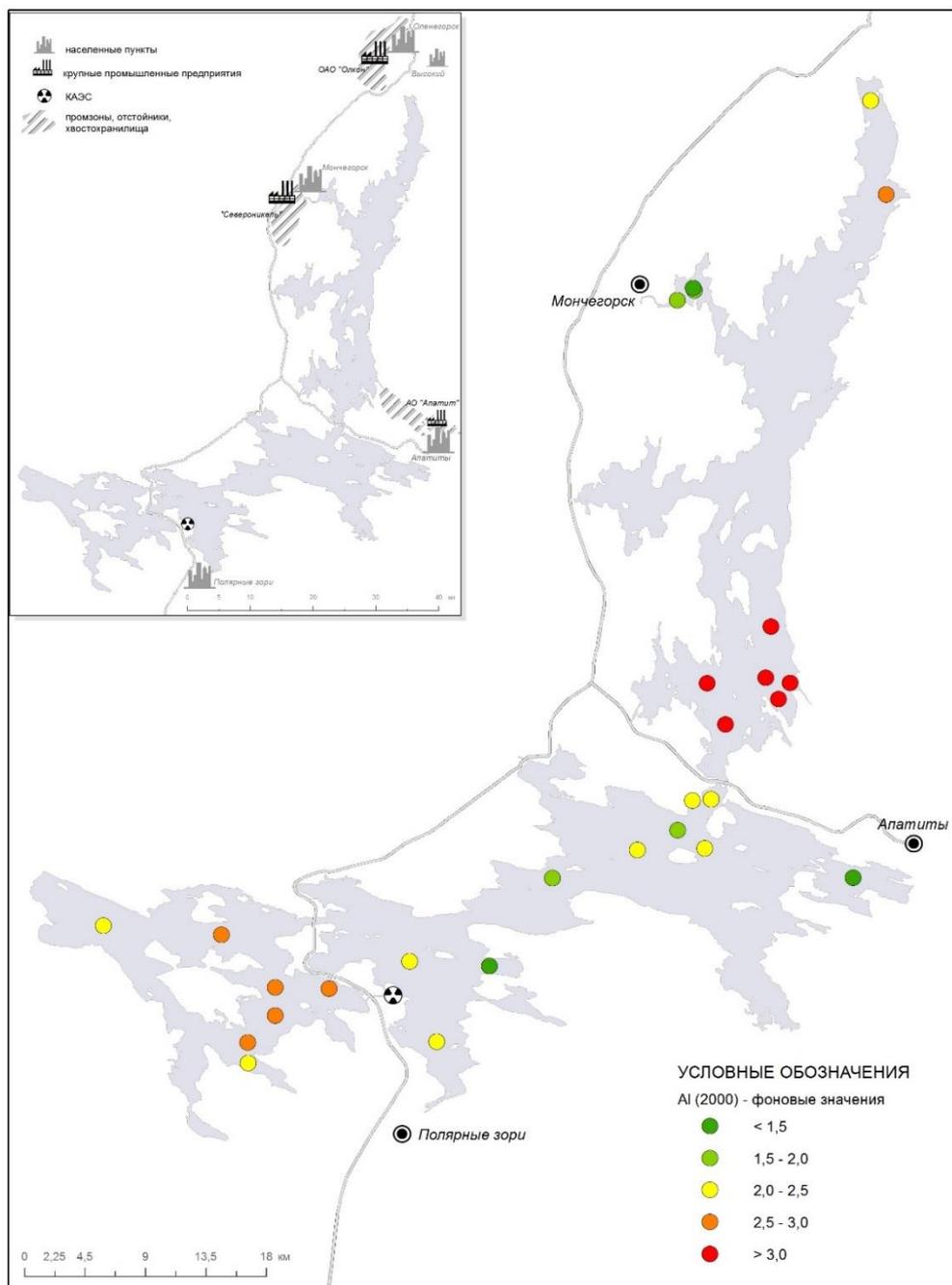


Рис. 3. Фоновые содержания Al (%) в ДО оз. Имандра по результатам исследований 2000-х гг.

Наибольшие средние содержания Mn в фоновых слоях ДО зафиксированы в Йокостровской Имандре, а Fe в Бабинской Имандре (рис. 5), что связано, скорее всего, с образованием специфических условий для формирования оксидов этих металлов в ДО, например, с наибольшими глубинами в Бабинской Имандре.

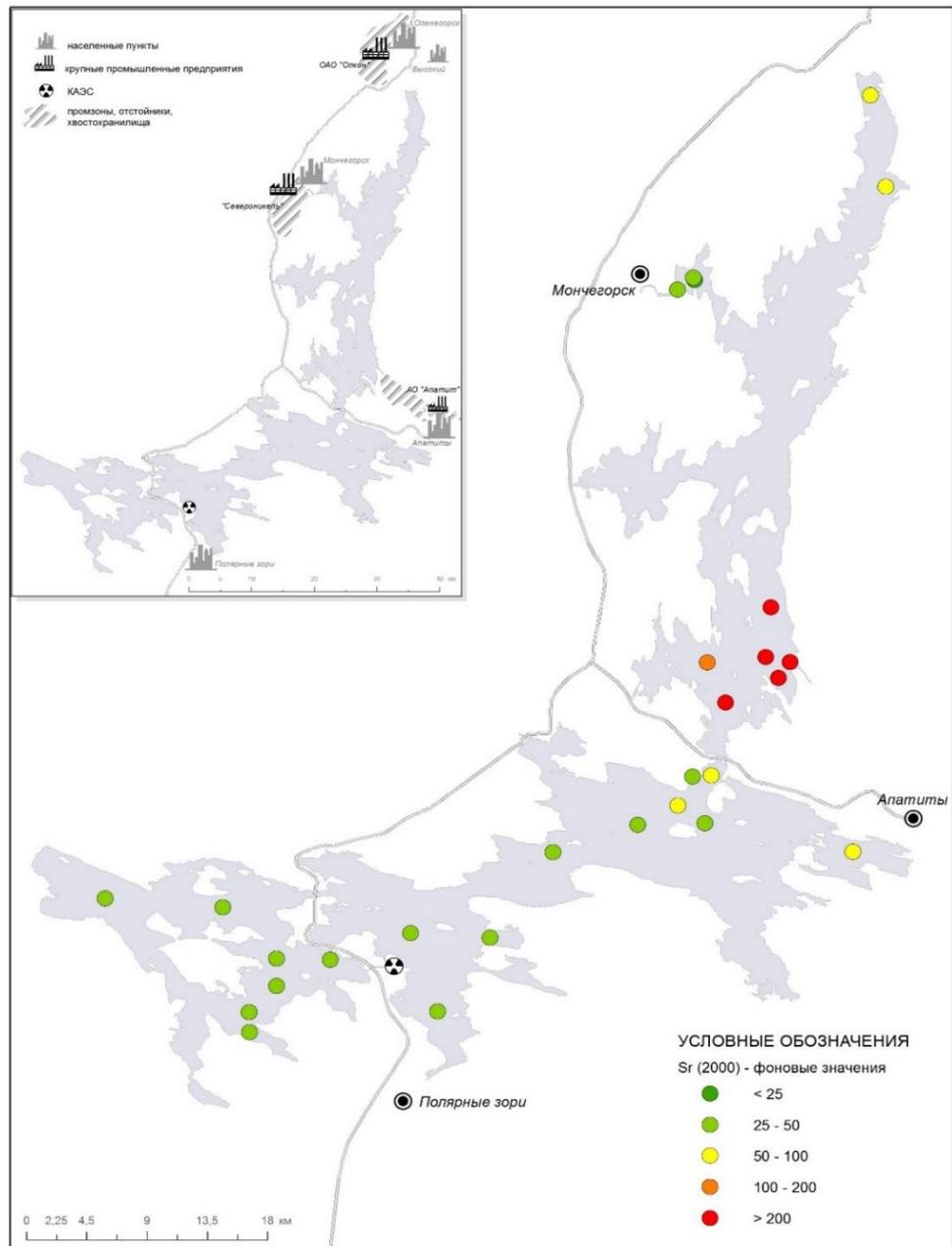


Рис. 4. Фоновые содержания Sr (мкг/г) в ДО оз. Имандра по результатам исследований 2000-х гг.

В Бабинской Имандре отмечено наибольшее среднее содержание Co, Sr, K и Mg в фоновых слоях ДО. Этот плес озера характеризуется наибольшей средней глубиной, на глубине 10–30 м обнаруживаются глины, имеющие плотную консистенцию и серовато-палевую окраску [Рихтер, 1934; Баранов, 1966]. Как известно, глинистые минералы монтмориллонит и хлорит обладают повышенным содержанием Mg, а иллит — K.

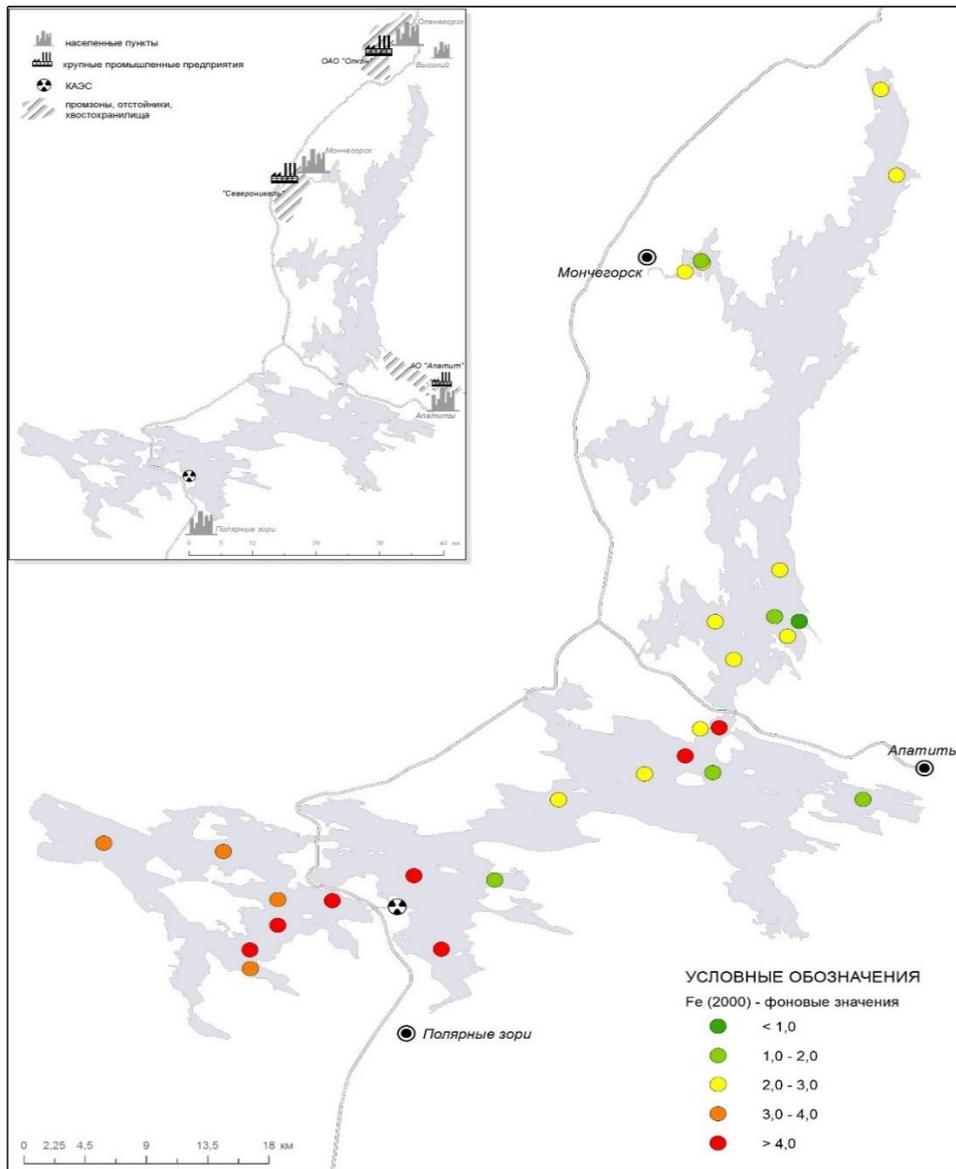


Рис. 5. Фоновые содержания Fe (%) в ДО оз. Имандра по результатам исследований 2000-х гг.

### Заключение

При оценке экологического состояния водоемов и исследовании их загрязнения одним из важных вопросов является установление фоновых концентраций элементов в ДО. Определение фонового доиндустриального уровня содержания элементов в оз. Имандра стало возможным только после детальных исследований вертикального распределения концентраций элементов с использованием отбора колонок ДО. Скорость осадконакопления в озерах Северной Фенноскандии (и Мурманской области в том числе) оценивается равной примерно 1 мм в год, а диапазон находится в пределах от 0,3–1,25 мм/год в озерах, аэротехногенно загрязняемых; до 3 мм/год в озерах, подверженных влиянию сточных

вод промышленных предприятий. Длина колонок ДО при исследовании оз. Имандра была, как правило, в диапазоне 20–25 см. Следовательно, можно предположить, что в нижних слоях отобранных колонок ДО должны быть зафиксированы природные фоновые содержания элементов. Определялись содержания ТМ (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Cr), щелочных и щелочноземельных металлов (Na, K, Ca, Mg, Sr), а также Al и P в фоновых слоях ДО. В результате использования методов математической статистики (корреляционного и факторного анализов) выявлены две группы элементов: первая группа — ТМ, вторая — щелочные (Na и K) и щелочноземельные (Ca, Mg и Sr) металлы, Al и P. Эти две группы элементов содержатся в повышенных содержаниях в породообразующих минералах горных пород, слагающих водосбор оз. Имандра: первая группа — в северной части водосбора (сульфидные медно-никелевые руды Монче-тундр), вторая группа — в юго-восточной части водосбора (апатитонегелиновые залежи Хибинского щелочного массива). Результаты математической статистики подтвердил анализ территориального распределения фоновых содержаний по акватории оз. Имандра, проведенного по картограммам с использованием ГИС-технологий. Наибольшие средние содержания ТМ (кроме Co, Pb и As) отмечены в северной части Большой Имандры. В южной части Большой Имандры зафиксированы наибольшие средние содержания Al и P, а также Ca, Na и Sr. Наибольшие средние содержания Mn в фоновых слоях ДО зафиксированы в Йокостровской Имандре, а Fe — в Бабинской Имандре, что связано, скорее всего, с образованием специфических условий для формирования оксидов этих металлов в ДО. В Бабинской Имандре отмечено наибольшее среднее содержание K и Mg в фоновых слоях ДО с повышенным содержанием глинистых минералов с повышенным содержанием этих металлов.

*Благодарим О. В. Петрову за изготовление карт. Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИППЭС КНЦ РАН, тема «Закономерности функционирования арктических пресноводных экосистем в условиях изменения климата и усиления антропогенного воздействия» (№ АААА-А19-119041890010-4) и частично поддержана из средств грантов РФФИ Арктика № 18-05-60125 и 18-05-00897.*

## **Литература**

- Баранов И. В.* Природные особенности водохранилищ Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. 1966. С. 24–32.
- Виноградов А. П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- Даувальтер В. А.* Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: МГТУ, 2012. 242 с.
- Даувальтер В. А.* Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской Субарктики (природоохранные аспекты проблемы): автореф. ... д-ра геогр. наук. М.: ИВГ РАН, 1999. 52 с.
- Даувальтер В. А.* Химический состав донных отложений субарктического озера под влиянием горной металлургии // Известия АН. Серия географическая. 2002. № 4. С. 65–73.
- Даувальтер В. А., Ильяшук Б. П.* Условия образования железо-марганцевых конкреций в донных отложениях озер в пределах Балтийского кристаллического щита // Геохимия. 2007. № 6. С. 680–684.
- Даувальтер В. А., Кашулин Н. А.* Геоэкология озер Мурманской области. В 3 ч. Ч. 3: Донные отложения водоемов. Мурманск: МГТУ, 2014. 214 с.

*Иванов Д. В., Зиганишин И. И., Осмелкин Е. В.* Региональные фоновые концентрации металлов в донных отложениях озер Республики Татарстан // Ученые записки Казанского гос. ун-та. 2010. Т. 152, кн. 1. С. 185–191.

*Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Лукин А. А., Кудрявцева Л. П., Ильяшук Б. П., Ильяшук Е. А., Сандимиров С. С., Каган Л. Я., Вандыш О. И., Шаров А. Н., Шарова Ю. Н., Королева И. М.* Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М: Наука, 2002. 403 с.

*Нерадовский Ю. Н., Даувальтер В. А., Савченко Е. Э.* Генезис фрамбоидального пирита в современных осадках озер (Кольский п-ов) // Записки Российского минералогического общества. 2009. Ч. СXXXVIII. № 6. С. 50–55.

*Рихтер Г. Д.* Физико-географический очерк озера Имандра и его бассейна. Л.: Гостехиздат, 1934. 144 с.

*Саит Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. и др.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

*Страхов Н. М., Бродская Н. Г., Князева Л. М., Разживина А. Н., Ратеев М. А., Сапожников Д. Г., Шишова Е. С.* Образование осадков в современных водоемах. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 792 с.

*Югай В. С., Даувальтер В. А., Каиулин Н. А.* Гранулометрический и химический состав донных отложений озер Большой и Малый Вудъявр // Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона. Труды IX Всерос. (с междунар. участием) Ферсмановской научной сессии, посвященной 60-летию ГИ КНЦ РАН (Апатиты, 2–3 апреля 2012 г.) / Ред. Ю. Л. Войтеховский. Апатиты: К & М, 2012 а. С. 369–372.

*Югай В. С., Даувальтер В. А., Каиулин Н. А.* Особенности формирования донных отложений озера Имандра в зоне воздействия сточных вод ОАО «Апатит» // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения. Материалы IV Всерос. научн. конф. (с междунар. участием). Апатиты: КНЦ РАН, 2012б. Ч. I. С. 264–268.

*Янин Е. П.* Введение в экологическую геохимию. М.: ИМГРЭ, 1999. 68 с.

*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 // Journal of Environmental Monitoring. 2003. Vol. 5 (2). P. 210–215.

*Förstner U.* Metals concentrations in recent lacustrine sediments // Arch. Hydrobiol. 1977. Vol. 80. P. 172–191.

*Förstner U., Wittmann G. T. W.* Metal Pollution in the aquatic environment. N.Y.: Springer-Verlag, 2<sup>nd</sup> revised edition. 1981. 486 p.

*Gibbs R.* Mechanisms of trace metal transport in rivers // Science. 1973. Vol. 180. P. 71–73.

*Håkanson L.* An ecological risk index for aquatic pollution control — a sedimentological approach // Water Res. 1980. Vol. 14. P. 975–1001.

*Håkanson L.* Sediments as indicator of contamination — investigation in the four largest Swedish lakes. Uppsala: SNN RM 835/NLU Rapport 92. 1977. 27 p.

*Håkanson, L.* Sediment sampling in different aquatic environments: statistical aspects // Water Resour. Res. 1984. Vol. 20, no. 1. P. 41–46.

*Kadūnas V., Radzevičius A.* Comparative characteristics of change of trace elements background values and associations in Lithuanian surface sediments // Litosfera. 2003. Vol. 7. 80–87.

*Melnikov S. A.* Report on heavy metals // State of the Arctic Environment. Rovaniemi: Arctic Centre Publications, 1991. P. 82–153.

*Norton S. A., Appleby P. G., Dauvalter V., Traaen T. S.* Trace metal pollution in Eastern Finnmark, Norway and Kola Peninsula, Northeastern Russia as evidences by studies of lake sediment // NIVA-Report 41/1996. Oslo, 1996. 18 p.

*Rognerud S., Norton S.A., Dauvalter V.* Heavy metal pollution in lake sediments in the border areas between Russia and Norway. Oslo: NIVA-Report 522/ 93, 1993. 18 p.

*Turekian K. K., Wedepohl K. H.* Distribution of the elements in some major units of the earth's crust // Bull. Geol. Soc. Am. 1961. Vol. 32. P. 175–192.

*Guten H. R. von, Sturm M., Moser R. N.* 200-year record of metals in lake sediments and natural background concentrations // Environ. Sci. Technol. 1997. Vol. 31. 2193–2197.

*Wedepohl K. H.* The composition of the continental crust // Geochim. Et Cosmochim. Acta. 1995. Vol. 59, no. 7. P. 1221–1232.

#### **Сведения об авторах**

##### **Даувальтер Владимир Андреевич**

доктор географических наук, главный научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, vladimir@inep.ksc.ru

##### **Кашулин Николай Александрович**

доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, nikolay@inep.ksc.ru

##### **Dauvalter Vladimir Andreyevich**

D. Sc. (Geography), Chief Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, vladimir@inep.ksc.ru

##### **Kashulin Nikolay Alexandrovich**

D. Sc. (Biology), Chief Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, nikolay@inep.ksc.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.30-40

УДК 556.552

#### **И. А. Терентьева<sup>1</sup>, П. М. Терентьев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Горный институт ФИЦ КНЦ РАН

<sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН

### **СТРУКТУРА МНОГОЛЕТНЕГО ВОДНОГО БАЛАНСА АНТРОПОГЕННО ПРЕОБРАЗОВАННОГО ВОДОЕМА**

#### **Аннотация**

Рассмотрена структура многолетнего водного баланса оз. Нюдъявр (Мурманская область). Показано, что основными составляющими в формировании приходной части водного баланса озера является поверхностный приток с территории водосбора и поступающий объем сточных вод. В расходной части баланса исследуемого водоема главным элементом является поверхностный сток через р. Нюдауй. Определена роль природных и сточных вод в процессе формирования гидрохимического и гидрологического режима оз. Нюдъявр за период 1966-2015 г. Отмечена положительная динамика по снижению составляющей сточных вод в приходной части водного баланса водоема. Согласно рассчитанному коэффициенту условного водообмена, исследуемое озеро относится к умеренно проточному водоему сезонного регулирования.

#### **Ключевые слова:**

озеро Нюдъявр, водный баланс, атмосферные осадки, испарение, поверхностный приток и сток, подземный приток и сток, коэффициент условного водообмена.

I. A. Terentjeva., P. M. Terentjev

<sup>1</sup> Mining Institute of the KSC of RAS

<sup>2</sup> Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS

## LONG-TERM WATER BALANCE STRUCTURE OF AN ANTROPOGENICALLY MODIFIED LAKE

### Abstract

The structure of the long-term water balance of Njudjavr Lake (Murmansk Region, Russia) was examined. The main inflows in the lake's water balance are the natural surface runoff from the catchment area and the wastewater of copper-nickel smelters. The main outflows from Njudjavr Lake is the Njuduaj river. The role of natural and wastewater is described in the lake's hydrochemistry and hydrology in 1966 to 2015. Reduction is shown in the share of wastewater in the inflows forming the lake's water balance. The lake can be classified as a seasonally regulated water body with a moderate flow.

### Keywords

*Njudjavr Lake, water balance, atmospheric precipitation, evaporation, surface inflow and runoff, groundwater inflow and runoff, coefficient of conditional water exchange.*

### Введение

В XX в. в районах функционирования предприятий цветной и горнодобывающей промышленности значительно возросли масштабы антропогенного влияния на условия формирования, режим и качество водных ресурсов [Исмайылов и др., 2007; Кашулин и др., 2007; Даувальтер и др., 2009]. В настоящее время большинство озерно-речных систем в разной степени подвержено влиянию хозяйственной деятельности человека. Опосредованное негативное антропогенное воздействие на водоем затрагивает водосборную территорию его бассейна (рельеф, растительность, почву) и, как следствие, приводит к изменению гидрологических характеристик. Непосредственное влияние на водоем оказывают сточные воды, сбрасываемые промышленными предприятиями.

Бассейн реки или водоема — саморегулирующаяся система, преобразующая входящие и выходящие водные потоки [Урбанова, 2012]. Учет всех элементов приходно-расходной части баланса зачастую бывает весьма затруднен, ввиду отсутствия данных по отдельным его составляющим. В особенности это касается водных бассейнов, испытывающих влияние промышленного загрязнения. Сопоставить объемы поступления влаги от разных источников и оценить степень их влияния на общий ход формирования гидрологического режима изучаемого водного объекта позволяет метод водно-балансовых исследований, широко применяемый в гидрологических исследованиях [Гагаринова, Ковальчук, 2010]. Техническим средством анализа соотношения приходной и расходной части водного баланса озера является уравнение водного баланса [Давыдов и др., 1973, Методы..., 1976; Методы..., 1981; Приказ..., 2007].

Одним из основных источников негативного воздействия на водные объекты в районе исследования является Мончегорская площадка АО «Кольская ГМК» — одно из крупнейших предприятий по переработке медно-никелевых руд. Оз. Нюдъявр — антропогенно преобразованный водоем, испытывающий длительное интенсивное воздействие со стороны комбината [Кашулин и др., 2007; Даувальтер и др., 2009, Зосин и др., 2012]. Через р. Нюдуау из оз. Нюдъявр загрязненные воды поступают в оз. Имандра — рыбохозяйственный водоем высшей категории. Осуществляемое в настоящее время на АО «Кольская ГМК» рафинирование никеля сопровождается образованием

больших объемов солевых сточных вод, содержащих сульфаты, бораты, хлориды, гидрокарбонаты, гидроксиды натрия, никеля, магния и другие соединения. Качественный и количественный состав солевых сточных вод не соответствует экологическим требованиям, предъявляемым к сбросам в рыбохозяйственные водоемы [Перечень..., 1999]. Одним из шагов предприятия по снижению уровня антропогенной нагрузки на водоем стало сокращение объемов солевого стока. В связи с реализацией проекта по утилизации солевого стока никелевого рафинирования ЭО ЦЭН-2 на АО «Кольская ГМК» и для прогноза эффективности этого природоохранного мероприятия возникла необходимость оценки вклада сточных вод в водный баланс оз. Нюдъявр.

Цель работы — изучение составляющих водного баланса оз. Нюдъявр в 2011–2015 гг. и оценка влияния сточных вод АО «Кольская ГМК» на гидрологический режим данного водного объекта в сравнении с периодом 1966–2015 гг.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ гидрометеорологических наблюдений и архивных данных по району исследования;
- анализ структуры приходной и расходной частей водного баланса озера;
- количественная оценка водообмена озера.

### **Объекты, материалы и методы**

Объектом исследования было оз. Нюдъявр. Водоем занимает впадину с заболоченными берегами к северу от окружающих его сопот Монче-тундры и располагается между г. Мончегорск и промышленной площадкой АО «Кольская ГМК». Нюдъявр — один из крупнейших внутренних водоемов Мончегорского района с площадью водосбора 90,54 км<sup>2</sup> (рис. 1, табл. 2).

Насыпной дамбой озеро разделено на южную и северную части. Южная часть — технологический отстойник — является важным элементом системы технологических процессов промышленной площадки и служит приемником сильнозагрязненных сточных вод предприятия. Отстойник представляет собой комплексный геохимический барьер (механический, сорбционный, биогеохимический), в котором происходит существенное снижение концентраций тяжелых металлов. Кроме сточных вод в него попадают природные воды с территории, прилегающей к комбинату. Из технологического отстойника по трубам перетока воды направляются в северную часть водоема. Сюда же поступает поверхностный сток с территории водосбора. С запада в оз. Нюдъявр впадает р. Кумужья, с северо-запада — воды р. Травяная и ее мелких притоков. Канал из оз. Пыслычимъявр, также впадает в северную часть оз. Нюдъявр и предназначен для отвода стока в обход южной части водоема. Единственной рекой, по которой сбрасывается весь сток бассейна, является р. Нюдауй, вытекающая из северо-восточной части озера.

Исходными материалами для расчета многолетнего водного баланса стали данные наблюдений на метеостанции г. Мончегорск за 2011–2015 гг.; материалы специальных исследований, выполненных сотрудниками института «Гипроникель» в 1988–1994 гг.; ежемесячные данные мониторинга ОАО «Кольской ГМК» за 2011–2015 гг. на пяти контрольных створах водосбора оз. Нюдъявр (1 — выпуск «трубы перетока»; 2 — р. Кумужья; 3 — р. Травяная; 4 — канал Пыслычим; 5 — сток в р. Нюдауй).

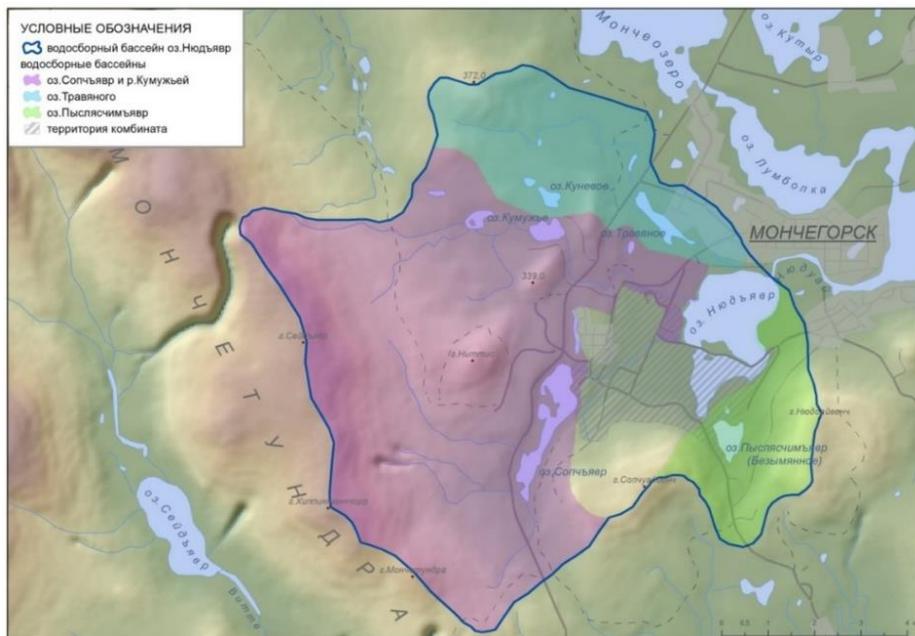


Рис. 1. Карта-схема района исследования

Таблица 1

Объем годового стока природных вод северной части оз. Нюдъявр, млн м<sup>3</sup>

Пункт наблюдения	2011	2012	2013	2014	2015
Р. Кумужья	13,32	13,57	14,24	15,75	14,58
Р. Травяная	5,04	5,04	5,10	5,67	5,42
Канал Пыслысчим	2,41	2,41	2,44	2,71	2,59
Прочие воды	2,18	2,20	1,32	3,17	1,80
Всего	22,95	23,22	23,10	27,30	24,39

В зависимости от наличия и полноты исходных данных был проведен расчет основных элементов водного баланса озера согласно принятому нормативному документу (Приказ..., 2007). Для расчета использовали уравнение (1). Размерность составляющих водного баланса принимается в млн м<sup>3</sup>:

$$W_{oc} + W_{пов} + W_{подз} + W_{ст} + W_{ф} = W_{исп} + W_a + W_{подз \text{ сток}} + W_{поверх \text{ сток}}, \quad (1)$$

где  $W_{oc}$  — сумма атмосферных осадков, выпавших на поверхность озера;  $W_{пов}$  — приток поверхностных вод с водосбора;  $W_{подз}$  — приток грунтовых вод с водосбора;  $W_{ст}$  — объем, поступающих сточных вод;  $W_{ф}$  — фильтрация через дамбу;  $W_{исп}$  — испарение с водной поверхности озера;  $W_a$  — аккумуляция в чаше озера;  $W_{подз \text{ сток}}$  — подземный сток из озера;  $W_{поверх \text{ сток}}$  — поверхностный сток из озера.

**Приходная часть водного баланса оз. Нюдъявр.** Основными элементами приходной части водного баланса озера являются атмосферные осадки, выпадающие на его поверхность, приток поверхностных и грунтовых вод, сточные воды промышленного предприятия.

1. Сумма атмосферных осадков ( $W_{oc}$ ). Формула для расчета годового количества осадков, выпадающих на поверхность озера:

$$W_{oc} = F_{зер} * h, \quad (2)$$

где  $W_{oc}$  — осадки, м<sup>3</sup>;  $F$  — площадь зеркала озера, м<sup>2</sup>;  $h$  — средний слой осадков, выпавших на зеркало водоема за год, м.

2. Поверхностный приток с водосбора ( $W_{пов}$ ) определяли по данным пунктов наблюдений за стоком основных рек и ручьев, впадающих в оз. Нюдъявр [Отчет..., 2017]. Объем поступления природных вод в южную часть водоема рассчитывали по разнице между выпуском «трубы перетока» и величиной сточных вод предприятия, для северной части озера — согласно данным с пунктов наблюдений (табл. 1).

3. Вклад сточных вод ( $W_{ст}$ ) рассчитывали на основе фактически измеренных данных расхода в контрольных точках сброса сточных вод предприятия в южной и северной частях озера за исследованный период.

4. Определение подземного притока грунтовых вод ( $W_{подз}$ ) требует проведения дорогостоящих гидрогеологических исследований подземных вод, поэтому вклад этого фактора в расчете не учитывался. Согласно архивным материалам работ института «Гипроникель» за 1993 г., величина подземного притока составляла 2,19 млн м<sup>3</sup> [Отчет., 1994].

5. Фильтрация через дамбу ( $W_{ф}$ ). Со времени отсыпки противофильтрационной призмы в 1985 г. величина фильтрации считается неизменной. Дамба, разделяющая южную и северную части оз. Нюдъявр, по расчетам института «Гипроникель», имеет фильтрацию в размере 30–50 м<sup>3</sup>/ч (Отчет., 1994). В приходной части баланса нашего исследования величина фильтрации принята равной 40 м<sup>3</sup>/ч или 0,35 млн м<sup>3</sup>.

**Расходная часть водного баланса оз. Нюдъявр.** Основными элементами расходной части водного баланса озера являются: суммарное испарение с поверхности водоема, подземный и поверхностный сток, аккумуляция в чаше озера.

1. Испарение с поверхности водоема ( $W_{исп}$ ). Среднюю многолетнюю величину испарения с водной поверхности оз. Нюдъявр рассчитывали согласно существующим методикам [Приказ..., 2007; Ресурсы ..., 1970].

2. Поверхностный сток ( $W_{поверх сток}$ ) определяли по фактическим измеренным данным расхода в трубах перетока с южной части озера и вблизи истока р. Нюдауй. Наблюдения проводили ежемесячно в течение всего исследуемого периода.

3. Подземный сток ( $W_{подз сток}$ ) в расчете не учитывали. По результатам работ института «Гипроникель» за 1993 г., данная величина для северной части озера составляла 0,876 млн м<sup>3</sup> [Отчет., 1993]. Данных по подземному стоку с южной части водоема нет.

4. Аккумуляцию ( $W_a$ ) в чаше озера оценивали на основе архивных данных. Согласно наблюдениям института «Гипроникель» за 1988 г., аккумуляция воды в южной части оз. Нюдъявр составила 13 м<sup>3</sup>/ч или 0,11 млн м<sup>3</sup>, в северной части — 87 м<sup>3</sup>/ч или 0,76 млн м<sup>3</sup> [Отчет..., 1988].

Важной гидрологической характеристикой озера является коэффициент условного водообмена ( $K_v$ ) или его проточности. Он определяется как отношение объема, вытекающего из озера ( $V_{стока}$ ), к объему воды в котловине озера ( $V_{оз}$ ):

$$K_v = V_{стока} / V_{оз}, \text{ год}^{-1}, \quad (3)$$

Величина, обратная  $K_v$ , является показателем периода условного водообмена (интенсивности водообмена) (Т). Этот показатель отражает время, в течение которого объем воды в озере заменяется на новый.

$$T = 1 / K_v = V_{оз} / V_{стока}, \text{ год}, \quad (4)$$

где  $V_{оз}$  — объем воды в котловине озера, млн  $m^3$ ;  $V_{стока}$  — объем воды, вытекающей из озера, млн  $m^3$  в год.

### Результаты и обсуждение

Согласно классификации С. П. Китаева [1984], по площади и значениям средней и максимальной глубины оз. Нюдъявр относится к малым озерам.

По данным таблиц 2 и 3 рассчитали коэффициент и период условного водообмена (Давыдов и др., 1973; Китаев, 1984; Мякишева, 2009) для южной и северной части оз. Нюдъявр по формулам (3 и 4), приведенным выше:

$$K_v (\text{южн. часть}) = 13,97 \text{ млн } m^3 / 2,5 \text{ млн } m^3 = 5,59 \text{ год}^{-1},$$

$$K_v (\text{сев. часть}) = 38,36 \text{ млн } m^3 / 4,7 \text{ млн } m^3 = 8,16 \text{ год}^{-1},$$

$$T (\text{южн. часть}) = 1 / 5,59 = 0,18 \text{ года} = 66 \text{ дней},$$

$$T (\text{сев. часть}) = 1 / 8,16 = 0,12 \text{ года} = 44 \text{ дня}.$$

Согласно классификации, предложенной Б. Б. Богословским [1958], исследуемый водоем является стоковым озером и характеризуется преобладанием притока воды с водосбора над поступлением атмосферных осадков. По величине внешнего водообмена исследуемые части водоема относятся к аккумулятивно-транзитному классу, подклассу АТ<sub>1</sub> [Богословский, Филь, 1984].

### Водный баланс озера Нюдъявр за многолетний период

Параллельные наблюдения за уровнем воды в обеих частях оз. Нюдъявр, разделенных дамбой, показали, что средний уровень воды в южной части составляет 128,8 м, а в северной (нижней) части — 127,6 м; перепад уровней равен 1,2 м (табл. 2).

Таблица 2

Основные морфометрические характеристики оз. Нюдъявр

Параметр	Южная часть	Северная часть	Всего по озеру
Высота над уровнем моря, м. абс.	128,8	127,6	
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>			90,54
Площадь озера, км <sup>2</sup>	1,0	2,78	3,78
Площадь зеркала озера, км <sup>2</sup>	1,0	2,78	3,78
Длина, км	1,3	1,9	3,2
Ширина, км	1,4	1,6	1,8
Глубина, м:			
средняя	2,5	1,7	2,2
максимальная	4,5	3,7	4,5
Объем воды в озере, км <sup>3</sup>	0,0025	0,0047	0,0072

*Сумма атмосферных осадков.* На водную поверхность оз. Нюдъявр в среднем за период исследований выпадает 0,455 млн  $m^3$ /год осадков в южной части водоема и 1,26 млн  $m^3$ /год — в северной части (табл. 3).

Таблица 3

Исходные данные для расчета водного баланса оз. Нюдъявр

Период исследования, год	Сумма осадков, мм	Производств. и хоз. бытовой сток (южн. часть), млн м <sup>3</sup>	Природные воды (южн. часть), млн м <sup>3</sup>	Выпуск «трубы перетока», млн м <sup>3</sup>	Природные воды (сев. часть), млн м <sup>3</sup>	Сток в р. Нюдауй, млн м <sup>3</sup>
2011	452	4,28	9,87	14,15	22,95	36,82
2012	539	3,97	10,09	14,06	23,22	37,24
2013	380	3,76	9,67	13,43	23,10	37,05
2014	392	3,76	10,14	13,90	27,30	41,56
2015	510	3,88	10,42	14,30	24,39	39,12
Среднее	455	3,93	10,04	13,97	24,19	38,36

*Поверхностный приток.* Водосборная площадь оз. Нюдъявр представляет собой антропогенно преобразованный ландшафт и равна 90,54 км<sup>2</sup>. Среднегодовой поверхностный приток в южную часть водоема с водосбора составляет 10,04 млн м<sup>3</sup>, в северную часть — 24,19 млн м<sup>3</sup> (табл. 3).

*Вклад сточных вод.* Суммарный вклад сточных вод предприятия в приходную часть водного баланса южной части озера согласно расчетным данным составил 3,93 млн м<sup>3</sup>. Кроме природных вод с территории водосбора в северную часть водоема по трубам перетока поступают сильнозагрязненные воды с технологического отстойника, их среднегодовая величина соответствовала 13,97 млн м<sup>3</sup> (табл. 3).

*Испарение с поверхности водоема.* Величина испарения с поверхности южной части водоема составила 0,42 млн м<sup>3</sup>, с северной части — 1,16 млн м<sup>3</sup>.

*Поверхностный сток.* Сток из технологического отстойника в северную часть оз. Нюдъявр происходит по трубам перетока, уложенным в разделительной дамбе. Измеренные расходы воды в данной точке наблюдения приведены в таблице 3. Среднегодовая величина поверхностного стока с южной части озера составила за исследуемый период 13,97 млн м<sup>3</sup>. Поверхностный сток из северной части водоема осуществляется по р. Нюдауй в объеме 38,36 млн м<sup>3</sup>.

По результатам расчета элементов водного баланса составлены сводные таблицы для южной и северной частей оз. Нюдъявр (табл. 4 и 5).

Таблица 4

Многолетний водный баланс южной части оз. Нюдъявр

Приходная часть			Расходная часть		
составляющие	млн м <sup>3</sup>	%	составляющие	млн м <sup>3</sup>	%
Атмосферные осадки	0,46	3,2	Испарение	0,42	2,9
Сточные воды комбината	3,93	27,2	Аккумуляция в чаше	0,11	0,8
Подземный приток	Не опр.	Не опр.	Подземный сток	Не опр.	Не опр.
Поверхностный приток с водосбора	10,04	69,6	Поверхностный сток в северную часть озера	13,97	96,3
Всего	14,43	100	Всего	14,50	100
ΔН* = 0,07 млн, м <sup>3</sup> (0,5 %)					

\* ΔН — невязка баланса, определяемая как разность между приходной и расходной частями водного баланса.

Таблица 5

Многолетний водный баланс северной части оз. Нюдъявр

Приходная часть			Расходная часть		
составляющие	млн м <sup>3</sup>	%	составляющие	млн м <sup>3</sup>	%
Атмосферные осадки	1,26	3,17	Испарение	1,16	2,88
Сток из южной части озера	13,97	35,13	Аккумуляция в чаше	0,76	1,89
Фильтрация через дамбу	0,35	0,88	Подземный сток	Не опр.	Не опр.
Подземный приток	Не опр.	Не опр.	Поверхностный сток по р. Нюдуай	38,36	95,23
Поверхностный приток с водосбора	24,19	60,82	Всего	40,28	100
Всего	39,77	100	Всего	40,28	100
ΔН* 0,51 млн м <sup>3</sup> (1,3 %)					

Анализ многолетней динамики соотношения вклада природных и сточных вод в водный баланс водоема позволил выделить условные периоды интенсивности антропогенной нагрузки на оз. Нюдъявр:

- 1) период наибольшей антропогенной нагрузки;
- 2) период резкого ослабления нагрузки;
- 3) период относительно стабильной антропогенной нагрузки.

На основе имеющихся данных (рис. 2) оценен период наибольшей антропогенной нагрузки на оз. Нюдъявр, который пришелся на середину 1960-х гг. Затем наметилось резкое снижение поступления объемов сточных вод, которое продолжалось до 2008 г. В исследуемый период 2011–2015 гг. от предприятия поступал относительно стабильный объем сточных вод (рис. 2). К сожалению, отсутствие данных до 1966 г. не позволяет оценить соотношение природных и сточных вод в более ранний период деятельности комбината.

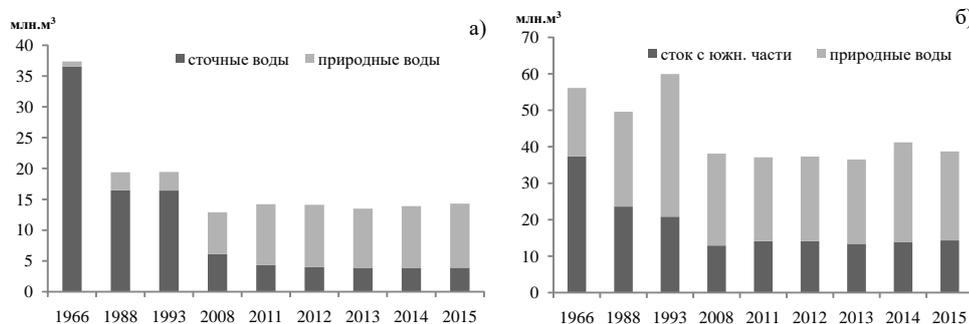


Рис. 2. Соотношение вклада природных и сточных вод в южную (а) и северную (б) части оз. Нюдъявр

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что формирование гидрохимического и гидрологического режима южной части оз. Нюдъявр в период с 1966 по 1993 гг. происходило за счет сточных вод предприятия. По данным за 2008 г. соотношение сточных и природных вод в отстойнике было сопоставимо. В период исследований 2011–2015 гг. общий ход формирования гидрохимического и гидрологического режима на 2/3 определялся природными водами с водосбора и только на 1/3 сточными водами предприятия.

В северной части оз. Нюдъявр основным элементом приходной части водного баланса с 1966 г. были сильнозагрязненные воды, поступающие с отстойника. К 1988 г. соотношение природных и сточных вод выравнялось, а с 1993 г. преобладающим элементом в приходной части водного баланса становятся природные воды, поступающие с территории водосбора. В настоящее время в формировании гидрохимического и гидрологического режима озера основная роль принадлежит природным водам с территории водосбора, но с заметным влиянием сточных вод предприятия.

### **Заключение**

Нюдъявр относится к типу умеренно проточных озер сезонного регулирования (АТ<sub>1</sub>). Период полной замены воды в южной части озера происходит за 66 дня, в северной — за 44 дня.

Анализ структуры многолетнего водного баланса оз. Нюдъявр за исследуемый период подтвердил высокую точность расчета его отдельных составляющих и принятые при расчетах допущения. Невязка баланса, определяемая как разность между приходной и расходной частями, равна 0,07 млн м<sup>3</sup> или 0,5 % от общего расхода для южной части водоема и 0,51 млн м<sup>3</sup> или 1,3 % от общего прихода для северной части озера.

Анализ структуры многолетнего водного баланса оз. Нюдъявр показал, что в приходной части основной составляющей является поверхностный приток с водосбора, на долю которого в южной и северной частях озера приходится около 70 % и 61 % от общего поступления воды в водоем соответственно. Доля сточных вод в водном балансе южной части озера в среднем за исследуемый период составляет 27 %, сток сильнозагрязненных вод в северную часть равен 35 %. В расходной части баланса основной составляющей является поверхностный сток из водоемов, на долю которого приходится более 90 % общего расхода воды в исследуемых водных объектах.

Следовательно, современные гидрохимические условия в оз. Нюдъявр будут определяться в основном химическим составом воды, стекающей в котловину озера с его водосбора, но со значительным влиянием сточных вод предприятия.

Выполненные расчеты характеризуют структуру водного баланса оз. Нюдъявр (южной и северной части) за пятилетний период. Вместе с тем значение имеют и сезонные изменения элементов водного баланса водоема, расчет и изучение которых являются целью дальнейших исследований.

Анализ соотношения вклада природных и сточных вод выявил положительную динамику в сторону снижения влияния последних в формировании гидрохимического и гидрологического режима оз. Нюдъявр. Но для оценки воздействия мончегорской площадки АО «Кольская ГМК» на качество водных ресурсов данного озера необходимо произвести изучение и расчет гидрохимического баланса водоема, что также является следующим этапом работы по оценке негативного воздействия медно-никелевого производства на исследуемый водный объект.

*Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИППЭС КНЦ РАН, тема «Закономерности функционирования арктических пресноводных экосистем в условиях изменения климата и усиления антропогенного воздействия» (№ АААА-А19-119041890010-4).*

## Литература

- Богословский Б. Б.* О районировании озер СССР по водному балансу // Труды III Всесоюз. гидрол. съезда. 1958. Т. 4. С. 17–25.
- Богословский Б. Б., Филь С. А.* Классификация водоемов по внешнему водообмену // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. М.: Изд-во АН СССР, Геогр. об-во СССР, 1984. С. 54–60.
- Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г.* Общая гидрология. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 463 с.
- Гагаринова О. В., Ковальчук О. А.* Оценка антропогенных воздействий на ландшафтно-гидрологические комплексы // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 151–156.
- Даувальтер В. А., Даувальтер М. В., Салтан М. В., Семенов Е. Н.* Химический состав поверхностных вод в зоне влияния комбината «Североникель» // Геохимия. 2009. № 6. С. 628–646.
- Зосин А. П., Приймак Т. И., Сулименко Л. П., Мингалева Т. А.* Анализ влияния предприятий медно-никелевого комплекса на состояние водных ресурсов ближайших объектов // Водные ресурсы. 2012. Т. 39, № 5. С. 558–568.
- Исмайылов Г. Х., Федоров В. М., Садати-Нежад С. Д.* Оценка возможных антропогенных изменений стока р. Сырдарья на основе математической модели // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 4. С. 389–402.
- Кацулин Н. А., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А.* Гидроэкология: самоочищающая способность техногенно-трансформированного заполярного водоема (оз. Нюдъявр, Мурманская область) // Инженерная экология. 2007. № 4. С. 45–63.
- Китаев С. П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука. 1984. 208 с.
- Методы изучения и расчета водного баланса.* Л.: Гидрометиздат, 1981. 398 с.
- Методы расчета водных балансов.* Международное руководство по исследованию и практике. Л.: Гидрометиздат, 1976. 117 с.
- Мякишева Н. В.* Многокритериальная классификация озер. СПб.: РГГМУ, 2009. 160 с.
- Отчет* по инженерно-гидрологическим работам для разработки и обоснования мероприятий по защите водного бассейна района расположения комбината «Североникель». Л.: Гипроникель, 1988. 158 с.
- Отчет* по изучению качества подземных вод на промплощадке комбината «Североникель» в 1993 г. Мончегорск: Гипроникель, 1993. 26 с.
- Отчет* инженерно-гидрологических работ по изучению сточных вод комбината «Североникель». СПб.: Гипроникель, 1994. 153 с.
- Отчет* о выполнении научно-исследовательских работ. Прогноз и мониторинг изменений геохимического режима озера Нюдъявр после прекращения сброса солевого стока. Апатиты: ИППЭС КНЦ РАН, 2017. 389 с.
- Перечень* рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 304 с.
- Приказ* МПР РФ № 314 от 30.11.2007 «Об утверждении методики расчета водохозяйственных балансов водных объектов. М.: Минюст, 2007. 50 с.
- Ресурсы* поверхностных вод СССР. Т. 1. Кольский полуостров. Л.: Гидрометиздат, 1970. 316 с.
- Урбанова О. Н.* Водный баланс системы озер Кабан как метод изучения их гидрологического режима // Георесурсы. 2012. Вып. 49, № 7. С. 7–10.

### *Сведения об авторах*

**Терентьева Ингрида Андреевна**

технолог 1 категории химико-аналитического отдела № 34 ГоИ КНЦ РАН,  
p\_terentjev@inep.ksc.ru

**Терентьев Петр Михайлович**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем  
промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, p\_terentjev@inep.ksc.ru

**Terentjeva Ingrida Andreevna**

Technologist of the 1<sup>st</sup> Category, Chemical and Analytical Department No. 34 of the Mining Institute  
of the KSC of RAS, Apatity, p\_terentjev@inep.ksc.ru

**Terentjev Petr Mikhailovich**

PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems  
of the Kola Science Center of RAS, Apatity, p\_terentjev@inep.ksc.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.40-50

УДК 504.45; 556.5

**С. С. Сандимиров, Т. А. Мингалева**

*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН*

**ГИДРОГРАФИЯ РЕК И ОЗЕР В РАЙОНЕ ФЕДОРОВО-ПАНСКИХ ТУНДР  
(МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

**Аннотация**

В работе приведена гидрографическая характеристика рек и озер центральной части Кольского полуострова в районе Федорово-Панских тундр. Представлены новые данные, в том числе морфометрические характеристики водных объектов на водосборах рек Кица, Цага, Пана.

**Ключевые слова:**

*Кольский полуостров, реки, озера, площадь водосбора.*

**S. S. Sandimirov, T. A. Mingaleva**

*Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS*

**HYDROGRAPHY OF RIVERS AND LAKES  
IN THE FEDOROVO-PANSKY TUNDRA AREA IN THE MURMANSK REGION**

**Abstract**

This paper describes the hydrography of the rivers and lakes in the Fedorovo-Pansky Tundra Area in the central part of the Kola Peninsula. New data, including morphometry of water bodies in the catchment areas of the rivers Kitsa, Tsaga, and Pana, are presented.

**Keywords:**

*Kola Peninsula, rivers, lakes, catchment area.*

**Введение**

Исследуемый район Федорово-Панских тундр расположен в центральной части Кольского полуострова в 20 км к югу от оз. Ловозеро и к востоку от южной оконечности оз. Умбозеро, вдали от основных промышленных и населенных центров, и, следовательно, в наименьшей степени подвержен антропогенному воздействию [Доклад..., 2016]. Район труднодоступен и малоизучен, существующие грунтовые дороги и зимники используются для сезонного сообщения с пос. Краснощелье и при проведении геологических работ на рудных месторождениях. Гидрографическая сеть изучаемой территории сложная, густая и протяженная, дренирует склоны горы Федорова Тундра, хребта Панские Тундры и окружающие заболоченные равнины.

Цель работы состояла в выявлении особенностей гидрографической сети района Федорово-Панских тундр как центрального водораздельного района Кольского полуострова, перспективного с точки зрения хозяйственного освоения.

### **Район и методы исследований**

Преыдущие этапы исследования гидрографии и геологии данного района являлись частью масштабных комплексных работ, выполнявшихся в целом для Кольского полуострова или Ловозерского района Мурманской области. Результаты этих работ изданы в виде каталогов и сборников [Каталог озер ..., 1962; Каталог рек ..., 1962; Ресурсы ..., 1970]. Генерализация информации, представленной в упомянутых изданиях, высока и не позволяет провести детальную оценку гидрографической сети района. Результаты этих работ мы использовали в качестве базовой информации и для верификации полученных результатов.

Новые сведения получены в результате проведения инженерно-экологических изысканий в районе Федорово-Панских тундр в период с 2006 по 2008 гг. Данные натурных измерений во время экспедиционных обследований и данные измерений картометрическим методом в составе камеральных работ проводили по общепринятым методикам [Руководство..., 1986, Рекомендации..., 2018].

Для исследования водных объектов и их водосборов использовали топографические карты крупного масштаба (1:25000–1:100000) и современные тематические карты наиболее крупного масштаба (гидрогеологические, почвенные, лесные и др.) [Информационный отчет..., 2003]. Выбранные карты отображают современное состояние водных объектов, их водосборов и ряда других природных объектов, применяющихся для определения гидрографических характеристик.

Картометрические работы выполняли по «бумажным» картам с помощью набора инструментов: курвиметра, циркуля, палеток различного типа. Определяли длины линий (гидрологической сети и др.) и площади (водосборов, озер, болот и других объектов местности). По данным длин и площадей рассчитывали густоту речной сети, залесенность, заболоченность, озерность и другие характеристики территорий водосборов. Полученные значения гидрографических характеристик исследуемых водных объектов сравнивали с опубликованными справочными данными. При проведении границ водосбора детальному анализу подлежали все средства изображения рельефа местности: основные, дополнительные и вспомогательные горизонтали, указатели направления течения рек, отметки высот и урезов воды, условные обозначения малых форм рельефа. Оценка заболоченности, лесистости и т. п. определялась по тематическим картам (почвенные, лесные и др.) [Информационный отчет..., 2003].

Ситуацию, отраженную на картах, дополняли и уточняли во время полевых обследований. Местоположение объектов определяли на местности с помощью GPS-навигатора в системе координат WGS-84 с одновременной привязкой к топографической карте. Для определения ширины и глубины рек применялись мерный трос и мерная линейка, для измерения глубин озер использовали эхолот.

При проведении работ придерживались гидрографического принципа: все водоемы и водотоки рассматривали от верховьев к устью.

## Результаты исследований

Район Федорово-Панских тундр расположен на водоразделе бассейнов Баренцева и Белого морей (рис. 1). На склонах возвышенностей и прилегающих равнинах формируется сток рек Цага, Кица и Пана, являющихся притоками трех крупных рек Кольского полуострова. Р. Цага относится к водосбору р. Вороньей (площадь водосбора 9,94 тыс. км<sup>2</sup>), р. Пана — приток р. Варзуги (9,83 тыс. км<sup>2</sup>), р. Кица впадает в оз. Умбозеро, которое является истоком р. Умбы (6,24 тыс. км<sup>2</sup>).



Рис. 1. Район исследований (Ловозерский район, Мурманская область) и карта-схема с границами водосборов рек Кица, Цага и Пана (на основе базовой карты масштаба 1:200000, проекция Гаусса-Крюгера)

Территория представляет собой полого-холмистую равнину со средними абсолютными отметками 190–230 м (рис. 2). Отдельные возвышенности — хребет Панские Тундры (гора Каменник 629,0 м) и горы Федорова Тундра (517,1 м) и Инчъявр (364,8 м) сложены коренными породами, подошвы их склонов и равнинная часть территории перекрыты моренными отложениями. Депрессии заняты низинными труднопроходимыми болотами и небольшими озерами (до 350–400 м в поперечнике) в различной стадии зарастания [Ресурсы ..., 1970; Жиров и др., 2008]. Равнины, примыкающие к горе Федорова Тундра, характеризуются замедленным дренажем. В понижениях на равнинной территории развиваются торфяно-болотные почвы. Поверхностные воды в основном представлены сетью небольших ручьев и рек. Озера входят в состав озерно-речных систем. Озера неглубоки, их берега заболочены, воды богаты гумусовыми кислотами и имеют темный цвет.

В подстилающих породах выделяются четыре слоя, различающиеся коэффициентами фильтрации. Верхний слой представлен четвертичными отложениями мощностью от 2–3 до 20 м. Второй слой составляет верхняя, более проницаемая, трещиноватая зона архей-протерозойского комплекса кристаллических пород до глубины 100–120 м от дневной поверхности. Третий слой приходится на менее проницаемую часть комплекса кристаллических пород до глубины 320–350 м. Четвертый слой представляет зона кристаллических водовмещающих пород до глубины 750 м. Максимальный коэффициент фильтрации, около 1,5 м/сут, отмечается во втором слое подстилающих пород. Для третьего и четвертого слоев характерен застойный режим подземных вод. По имеющимся гидрогеологическим данным район относится к зоне неполного дренирования подземных вод [Исходные ..., 2007].

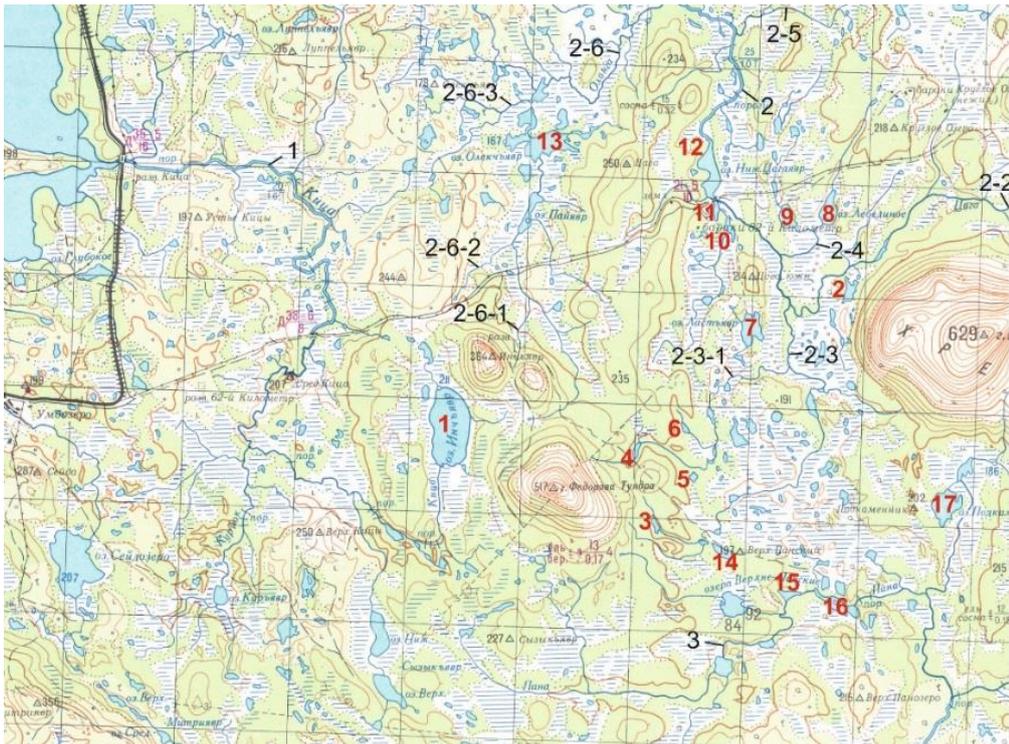


Рис. 2. Фрагмент топографической карты (1:200 000)  
с водными объектами исследований.

Реки и ручьи: 1 — Кица; 2 — Цага; 2-2 — б/н; 2-3 — ручей 2;  
2-3-1 — ручей Темный; 2-4 — б/н; 2-5 — Длинное Озеро; 2-6 — Олекчйок;  
2-6-1 — б/н; 2-6-2 — б/н; 2-6-3 — б/н; 3 — Пана. Озера: 1 — Инчъявр;  
2 — Вуэскъявр, 3 — № 199.4; 4 — Безымянное; 5 — № 190.1; 6 — № 190.4;  
7 — Ластъявр; 8 — Лебединое; 9 — Щучье; 10 — Шаръявр;  
11 — Верхний Цагаявр; 12 — Нижний Цагаявр; 13 — Олекчъявр; 14 — Голубое;  
15 — Треугольное; 16 — Верхнее Панозеро; 17 — Подкаменник

Реки Цага, Кица и Пана относятся к разряду малых рек и представляют собой озерно-речные системы. Большинство водотоков берет начало из небольших равнинных озер или заболоченных понижений, пойменные участки обычно отсутствуют. На склонах гор сток незначителен, большая часть выпадающих осадков просачивается в подстилающие породы и затем выклинивается у подошвы склонов в русла водотоков или в заболоченных понижениях.

Основные сведения о водосборах рек, протекающих по исследуемой территории, приведены в таблицах 1–3. Морфометрические характеристики водотоков определяли в период низких уровней воды летне-осенней межени.

Отдельные водотоки исследуемой территории берут начало на склонах возвышенностей, в местах выхода грунтовых вод на дневную поверхность, в трещинах или лощинах на высотах от 180 до 350 м в зависимости от высоты и площади возвышенности. Например, ручьи в верховьях р. Олекчйок, притоки р. Пана, текущие к югу с хребта Панские Тундры, и ручьи с северных склонов хребта, которые образуют исток р. Цага. Русла таких рек в верховьях сложены

крупнообломочным материалом, долины современных водотоков разработаны слабо и находятся на стадии врезания русла и формирования террас. Уклоны речного русла в верховьях наибольшие, скорости течения высокие, на этих участках водотоки относятся к типу горных рек и, прорезая на своем пути твердые кристаллические породы, образуют пороги и перекаты. Здесь продольные профили малых рек характеризуются ступенчатой формой (рис. 3). Заболоченные и сильно увлажненные участки на склонах возвышенностей встречаются редко. Следуя направлениям горных разломов, русла рек приобретают резкие коленчатые изгибы, многочисленны стремнины, пойма отсутствует или весьма узкая, как правило, односторонняя. С выходом водотока на равнинную заболоченную территорию скорость течения падает, речные террасы становятся шире и ниже, часто топкие. Эти участки рек относятся к типу полуравнинных рек.

В местах пересечения водотоками ледниковых гряд, сложенных моренным материалом, русла имеют корытообразный поперечный профиль с твердой песчаной отмосткой шириной от 1,5 до 3,5 м; в местах скопления каменистых отложений или выхода кристаллических пород образуются перекаты и пороги. Порожистые участки — мелководные и неширокие, со скоростью течения в межень 2–3 м/с и более. Плесовые участки рек глубокие, русло расплывается, границы нечеткие, дно вязкое, в межень скорость течения порядка 0,10–0,15 м/с и менее. Плесы образуются в результате подпора течения реки уровнем лежащего ниже по течению заболоченного массива или озера. Например, участок р. Цага в среднем течении и р. Пана — в верховьях (рис. 4). Более обширные и протяженные плесовые участки встречаются в случае подпора стока ледниковой грядой. В пределах таких гряд иногда встречаются изолированные озера запрудного типа, сток из которых происходит в результате фильтрации через подпорную перемычку или перетока воды через ее гребень в паводковый период. Например, оз. Голубое с высоким берегами, поросшими сосновым лесом.

Большинство водотоков начинаются из образующихся у подошвы склонов мочажин, иногда из небольших озер или в болотных массивах. Долины водотоков на равнинной территории широкие, с плоским заболоченным дном и небольшими озерами.

*Таблица 1*

Характеристика водосборов основных рек района Федорово-Панских тундр

Река	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Площадь болот, км <sup>2</sup>	Заболоченность, %	Площадь леса, км <sup>2</sup>	Залесенность, %	Количество рек
Р. Кица	276,6	117,5	42,5	149,3	54,0	11
Р. Цага	509,2	146,6	28,8	203,7	40,0	30
Верховье р. Пана (до р. Полисарка)	634,7	189,7	29,9	411,9	64,9	19

*Таблица 2*

Характеристика основных рек района Федорово-Панских тундр

Показатель / река	Кица	Цага	Олекчйок
Расстояние от устья, км	17,6	19,4	19,1
Ширина, м	17,0	15,0	2,10
Глубина, м	1,50	1,50	0,50
Дно	Песок, вязкое	Песок, вязкое	Песок, вязкое

## Сведения о реках основных водосборов в районе Федорово-Панских тундр

№ п/п	Река (порядок притока)	Место впадения, км, с какого берега	Длина реки, км	Откуда берет начало	Местоположение линейных озер, км от устья	Озерность, линейная / общая, %	Извилистость реки	Уклон реки средний, ‰
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водосбор р. Умба								
1*	Кица (1)	Оз. Умбозеро	50,1	Оз. б/н	Оз. б/н (49,5–47,9), Оз. Инчъявр (45,8–38,6), Оз. б/н (33,6–32,9)	9,2/3,3	3,9	1,3
Водосбор р. Воронья								
2	Цага (1)	Оз. Ловозеро	45,9	Родник	Оз. б/н (40,5–40,3), Оз. б/н (31,7–31,3), Оз. б/н (31,2–30,6), Оз. Верхний Цагаявр (19,3–17,2)	6,5/2,5	1,9	3,6
2-1	Б/н (2)	Р. Цага, 40,5, прав.	7,0	Родник	–	–/2,8	2,1	14,4
2-2	Б/н (2)	Р. Цага, 36,4, прав.	6,3	Болото	Оз. б/н (3,2–2,0)	19,0/–	1,2	1,2
2-3	Ручей 2 (б/н) (2)	Р. Цага, 25,8, лев.	18,6	Оз. б/н	Оз. б/н (17,7–17,1), Оз. б/н (12,5–12,2), Оз. Белое (5,8–5,0)	9,7/–	2,1	2,0
2-3-1	Руч. Темный (3)	Ручей 2, 2,7, лев.	8,6	Оз. б/н	Оз. б/н (3,7–3,5), Оз. б/н (5,5–5,1), Оз. б/н (8,1–7,7)	9,8/–	2,0	1,7
2-4	Б/н (2)	Р. Цага, 23,5, прав.	7,9	Оз. б/н	Оз. Лебединое (3,2–4,5)	16,4/–	1,1	3,9
2-5	Длинное озеро (2)	Р. Цага, 12,5, прав.	10,3	Оз. Длинное	–	–/6,8	1,3	3,1
2-6	Олекчйок (2)	Р. Цага, 8,2, лев.	26,8	Оз. б/н	Оз. Пайявр (17,3–15,8), Оз. Олекчъявр (14,1–13,1), Оз. б/н (12,8–12,1), Оз. б/н (11,6–10,9)	18,9/4,9	1,6	2,6
2-6-1	Б/н (3)	Р. Олекчйок, 17,2, лев.	2,9	Оз. б/н	–	–	1,1	28,9
2-6-2	Б/н (3)	Р. Олекчйок, 13,9, лев.	3,6	Оз. б/н	–	–/6,7	1,3	6,9
2-6-3	Б/н (3)	Р. Олекчйок, 7,5, лев.	7,4	Оз. б/н	Оз. б/н (2,4–2,2), Оз. б/н (1,3–1,1)	5,4/6,8	1,6	1,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водосбор р. Варзуга								
3	Пана (1)	Р. Варзуга, 97,3, прав.	114,3	Оз. б/н	Оз. б/н (104,9–104,3), Оз. б/н (102,3–99,5), Оз. Треугольное (97,1–96,5), Оз. Верхнее Панозеро (95,8–94,2), Оз. Нижнее Панозеро (76,2–74,9)	4,6/2,6	1,5	1,2

Примечание. Нумерация озер — как и на рисунке 2.

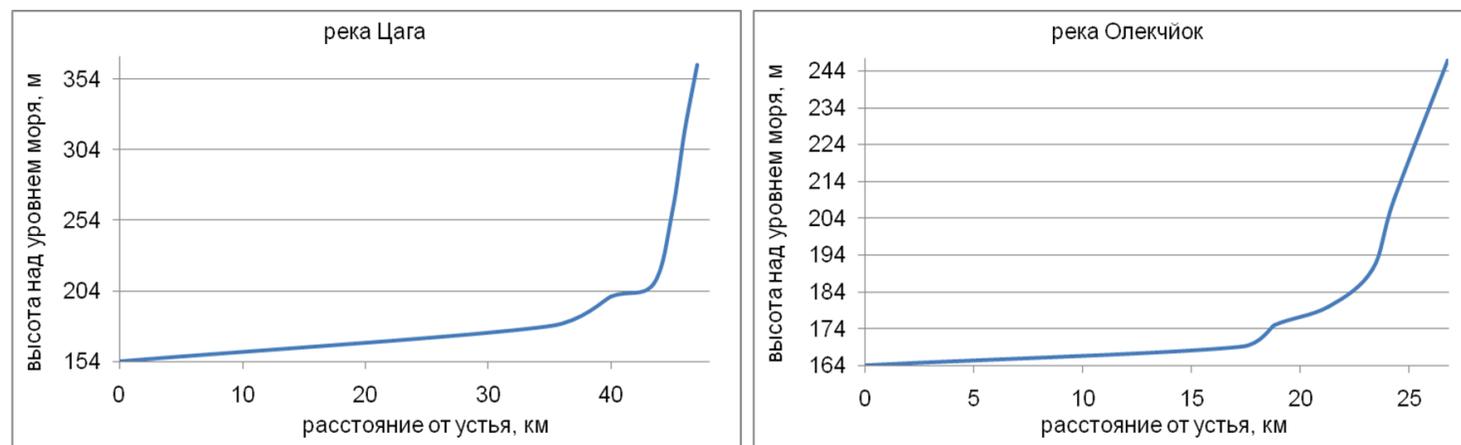


Рис. 3. Продольные профили малых рек Цага и Олекчйок с ярко выраженной ступенчатой формой в верхнем течении



Р. Цага (среднее течение), плес перед озерным участком в заболоченной низине



Р. Пана (верховье), плес перед озерным участком Верхнего Панозера



Оз. Голубое



Оз. Олекчъявр с окружающей заболоченной равниной. Болота типа “аапа”, с безлесными грядами



Оз. Треугольное



Оз. Верхнее Панозеро и гора Каменик

Рис. 4. Реки и озера в районе Федорово-Панских тундр

Характер заложения гидрографической сети определяется особенностями рельефа и геологического строения. Руслу водотоков совпадают с направлением разломных зон кристаллических пород, этим объясняется резкая смена направления течения рек, угол поворота которых составляет 90 ° и более, а также наличие порожистых участков. Так, р. Кица в среднем течении совершает несколько таких поворотов, меняя первоначальное направление течения с севера на юг на обратное, и имеет наибольший показатель извилистости по сравнению с другими водотоками изучаемого района (табл. 3).

Продольным разрывным нарушениям соответствует и формирование на дневной поверхности линейно вытянутых в северо-западном направлении логов и заболоченных ложин.

Озера на рассматриваемой территории имеют различный генезис. Крупные озера Умбозеро (149,6 м над ур. м.) и Ловозеро (153,9 м над ур. м.) тектонического происхождения. Их котловины разделены горным массивом Ловозерские тундры. Умбозеро характеризуется значительной глубиной, а Ловозеро состоит из нескольких плесов. Форма озер вытянутая, береговая линия сложной конфигурации. Уровень воды в этих озерах является местным базисом эрозии для впадающих в него рек.

Большинство озер равнинной части имеет ледниковое происхождение. Это небольшие водоемы, нередко расположенные посреди болот. Обычно такие озера имеют округлую форму и малую глубину (Инчъявр, Безымянное, Нижний Цагаявр, Щучье, Лебединое, Подкаменник). Встречаются запрудные и термокарстовые озера, которые образовались в результате преграждения мореной какого-либо поверхностного стока или вытаивания погребенного льда внутри моренной ледниковой гряды. Ложа этих озер вытянутой формы, глубина до 6–9 м (Голубое, Шаръявр, Верхнее Панозеро, Треугольное) (рис. 4). Сведения по отдельным озерам и их распределение по бассейнам основных рек приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 4

Характеристика озер в районе Федорово-Панских тундр

№ п/п	Объект	Площадь озера, км <sup>2</sup>	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Отметка уреза воды, м	Глубина макс., м	Длина, км	Ширина, км	Проточность
1	Инчъявр	3,14	19,6	211,0	1,5	2,81	1,28	П/ч
2	Вуэскъявр	0,22	1,9	177,3	2,0	0,87	0,32	П/ч
3	№ 199.4	0,09	1,6	199,4	2,5	0,67	0,22	П/ч
4	Безымянное	0,1	8,9	194,3	1,8	0,67	0,20	П/ч
5	Ластъявр	0,64	4,4	176,1	3,0	1,17	0,74	П/ч
6	№ 190.1	0,07	1,0	190,1	2,9	0,39	0,31	Б/ч
7	№ 190.4	0,05	1,78	190,4	3,0	0,42	0,14	П/ч
8	Лебединое	0,48	8,0	175,6	2,0	1,32	0,62	П/ч
9	Щучье	0,37	5,5	176,1	2,0	0,87	0,55	П/ч
10	Шаръявр	0,12	15,3	173,0	7,0	0,85	0,28	П/ч
11	Верхний Цагаявр	0,08	16,7	172,0	2,0	0,67	0,17	П/ч
12	Нижний Цагаявр	0,78	383,2	171,4	2,0	2,04	0,61	П/ч
13	Олекчъявр	1,44	54,6	167,2	4,5	2,81	0,74	П/ч
14	Голубое	0,18	0,54	185,0	9,0	0,89	0,31	Б/ч
15	Треугольное	0,18	76,6	175,9	6,0	0,80	0,40	П/ч
16	Верхнее Панозеро	0,53	80,1	175,8	6,0	1,86	0,40	П/ч
17	Подкаменник	0,83	7,1	187,0	3,5	1,34	0,98	П/ч

Примечания. 1. Нумерация озер — как и на рисунке 2.

2. Сокращения: п/ч — проточное; б/ч — бессточное.

Болота являются неотъемлемым элементом окружающего ландшафта данной территории и оказывают существенную аккумулялирующую и трансформирующую роль в формировании поверхностного стока. Данные о распределении болот и лесов в бассейнах основных рек приведены в таблице 1.

Наибольшее развитие на территории имеют верховые болота, питающиеся атмосферными осадками. В долинах рек, депрессиях рельефа и местах выхода грунтовых вод на террасированных склонах образуются низинные болота и болота различных стадий перехода к верховым. В целом для южной части Кольского полуострова характерны болота типа лапландских «аапа».

Особенностями «аапа»-болот являются приподнятые края, вогнутая в центре поверхность и сток воды в эту пониженную часть [Ресурсы..., 1970]. Окраины болот олиготрофные, сфагновые, с кустарничками и лишайниками. В центральной части развит грядово-мочажинный комплекс, гряды покрыты олиготрофной растительностью из болотных кустарников и сфагновых мхов. Мочажины часто занимают до 80 % площади, покрыты эвтрофной и мезотрофной растительностью, с преобладанием осоки и пушицы. Для лапландских «аапа» характерно отсутствие залесенности гряд. Торфяная залежь обычно неглубокая, 1–2 м, в отдельных случаях до 4 м. Характерна малая водопроницаемость болотных торфов. Коэффициент фильтрации мочажинных диатомовых торфов составляет  $0,16 \cdot 10^{-6}$  см/с, среднеразложившихся торфов —  $80 \cdot 10^{-6}$  см/с. Плохоразложившиеся торфы имеют коэффициент фильтрации  $(0,1-0,23) \cdot 10^{-3}$  см/с. Величина pH торфов олиготрофных болот — 3,0–3,4, эвтрофных — 4,9–5,5. Уровненный режим болот быстро реагирует на все изменения в приходе и расходе влаги, как правило, изменяется синхронно с уровнем грунтовых вод.

## **Выводы**

Новые гидрографические сведения, представленные в статье, позволяют выявить особенности распределения поверхностного стока на водораздельной территории Кольского полуострова. Замедленный характер стока обусловлен характером рельефа и морфологией водных объектов. В случае промышленного освоения месторождений длительный водообмен плесовых участков в руслах рек, заболоченных долинных комплексов и подземных горизонтов грунтовых вод будет способствовать накоплению загрязнений в водных средах и затруднять процессы самоочищения озерно-речных систем. Особенности гидрографии района необходимо учитывать при проведении изыскательских работ и планировании хозяйственной деятельности в районе Федорово-Панских тундр.

*Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИППЭС КНЦ РАН, тема «Закономерности функционирования арктических пресноводных экосистем в условиях изменения климата и усиления антропогенного воздействия» (№ АААА-А19-119041890010-4).*

## **Литература**

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2015 году. Мурманск: ООО «Ростсервис», 2016. 166 с.

Жиров Д. В., Пожиленко В. Н., Костина В. А., Королева Н. Е., Вдовин И. В., Белкина О. А., Константинова Н. А., Петров В. Н., Давыдов Д. А., Мелехин А. В. Ловозерский район. Книга 2. Памятники природы и достопримечательности Мурманской области. СПб.: Ника, 2008. 144 с.

Информационный отчет «О результатах поисковых и поисково-оценочных работ по оценке малосульфидного платинометального оруденения на территории Федорово-Панских тундр в 2001–2003 гг. (РФ, Мурманская область)». М., 2003.

*Исходные* гидрогеологические данные для разработки ТЭО инвестиций месторождения «Федорова Тундра». М.: ГИДЭК, 2007. 26 с.

*Каталог озер* Мурманской области. М–Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 146 с.

*Каталог рек* Мурманской области. М–Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 212 с.

*Рекомендации* Р52.08.874-2018. Определение гидрографических характеристик картографическим способом / Е. В. Орлова, Н. Н. Бобровицкая, В. В. Бородулин, М. В. Гладкова, В. Н. Кузнецов, О. П. Дидик. СПб.: Росгидромет, 2018. 178 с.

*Ресурсы* поверхностных вод СССР / под ред. Ю. А. Елшина. Л.: Гидрометеиздат, 1970. Т. 1. 316 с.

*Ресурсы* поверхностных вод СССР. Кольский полуостров / под ред. Ю. А. Елшина. Л.: Гидрометеиздат, 1970. Т. 1. 316 с.

*Руководство* по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 97 с.

#### **Сведения об авторах**

##### **Сандимиров Сергей Степанович**

кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, sand@inep.ksc.ru

##### **Мингалева Татьяна Анатольевна**

ведущий инженер Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, mingalevat@mail.ru

##### **Sandimirov Sergey Stepanovich**

PhD (Geography), Senior Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, sand@inep.ksc.ru

##### **Mingaleva Tatyana Anatolyevna**

Leading Engineer of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, mingalevat@mail.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.50-73

УДК 597.5.574.3

#### **П. М. Терентьев, Е. М. Зубова, Н. А. Кашулин, И. М. Королева**

*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН*

### **РЫБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ ПЛЕСА БАБИНСКАЯ ИМАНДРА И ЕГО СТРУКТУРНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

#### **Аннотация**

Исследованы особенности структуры рыбного населения Бабинской Имандры — одного из плесов крупнейшего в Мурманской области оз. Имандра. Приведены многолетние данные по основным биологическим показателям рыб. Оценены тенденции развития рыбной части сообщества в условиях аэротехногенного загрязнения и изменений гидрологического и термического режимов вод, связанных с деятельностью Кольской АЭС. Проанализированы пространственно-временные особенности изменения структуры рыбной части сообщества плеса и отдельных популяций нативных и чужеродных рыб. Сделан вывод о том, что в условиях сохраняющейся техногенной нагрузки, термофикации и антропогенного эвтрофирования вод происходит ускорение естественной сукцессионной смены доминирующих комплексов ихтиофауны от лососево-сиговых к окунево-корюшковым и карповым.

#### **Ключевые слова:**

*Бабинская Имандра, рыбное население, перестройки структуры сообщества, размерно-весовые показатели.*

**P. M. Terentjev, E. M. Zubova, N. A. Kashulin, I. M. Koroleva**

*Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS*

## **ICHTHYOFAUNA OF THE BABINSKAYA STRETCH OF IMANDRA LAKE AND ITS STRUCTURE IN CONDITIONS OF THE COMPLEX ANTHROPOGENIC IMPACT**

### **Abstract**

The current status of the ichthyofauna in one of the stretches of the largest lake in the Murmansk Region — Babinskaya Imandra was studied. The dynamics of the key fish biology indicators in the studied area over a long period of observations are presented. The trends of changes in the fish fauna resulting from fluctuations in the hydrological and gyrochemical regimes of the water body associated with the operation of the Kola NPP and persisting atmospheric pollution loads are described. Long-term restructuring of both the fish community structure and individual populations of native and alien fish species is discussed.

### **Keywords:**

*Imandra Lake, ichthyofauna, community structure, fish population, size and weight parameters.*

### **Введение**

Изучению рыбного населения Бабинской Иmandры уделялось меньше внимания по сравнению с остальной акваторией озера. Первые сведения относятся к периодам допромышленного и начала индустриального развития Мурманской области [Крепс, Крогиус, 1924; Крогиус, 1926 *a, б*; Рихтер, 1926, 1927; Исаченко, 1931; Петров, 1935; Шапошникова, 1940; Берг, 1948; Берг, Правдин, 1948; Владимирская, 1951, 1956, 1957; Галкин и др., 1966 *a, б*; Сурков, 1966; Смирнов, 1977]. Оценке негативных последствий промышленного загрязнения крупных водоемов Мурманской области в последующие годы было посвящено значительное количество работ [Моисеенко, 1980, 1997, 2002; Моисеенко, Яковлев, 1990; Лукин, 1995, 1998; Кашулин, 1999; Шарова, 2000; Королева, 2001; Антропогенные ..., 2002]. В 1970-е гг., в связи со строительством и вводом в эксплуатацию Кольской АЭС в акватории Бабинской Иmandры, актуальным стало изучение состояния экосистемы плеса в условиях воздействия подогретых вод [Воробьева, Чижииков, 1974; Чижииков и др., 1976; Крючков и др., 1984, 1985].

В период интенсивного промышленного производства в 1980–1990-х гг. у рыб оз. Иmandра были выявлены серьезные патологии внутренних органов, уменьшение размерно-весовых показателей, сокращение продолжительности жизни, ухудшение условий воспроизводства. Снижение техногенной нагрузки в годы экономического кризиса привело к некоторому улучшению состояния рыбного населения. Однако в настоящее время на фоне изменений климата и сохраняющейся техногенной нагрузки на водоем наблюдается интенсификация процессов его эвтрофирования и трансформация структуры рыбного населения, что ранее было не свойственно северным водоемам, и это требует подробного изучения. Подобные явления отмечены также для других водоемов Мурманской области [Кашулин и др., 2012; Терентьев, Кашулин, 2012] и, по-видимому, являются общей тенденцией современного этапа развития водоемов арктической зоны.

Цель работы — оценка долговременного тренда трансформации видового состава рыбного населения плеса Бабинская Иmandра в условиях воздушного загрязнения, изменения гидрологического режима и усиления процессов эвтрофирования водоема на фоне потепления климата.

### **Район, материалы и методы исследования**

Бабинская Иmandра представляет собой относительно изолированный, глубоководный (до 43,5 м) плес оз. Иmandра. Его площадь составляет 191 км<sup>2</sup> [Рихтер, 1934]. Здесь расположены самые крупные острова — Ерм и Роват. Крупными заливами плеса являются: Уполокша, Пасма, Кунчаст, Молочная, Камка. При значительной техногенной нагрузке на озеро плес не подвержен прямому

влиянию промышленного загрязнения и сохраняет черты естественного водоема [Антропогенные..., 2002]. Однако со строительством Кольской атомной электростанции (КАЭС) был изменен гидрологический, а затем и гидрохимический режим западной части плеса [Моисеенко, Яковлев, 1990].

Исследования рыбного населения плеса Бабинская Имандра проводили в 2011–2012 гг. в районе протоки Узкая Салма, в западной и южной частях о. Хорт и в акватории губы, ограниченной мысом Ермынчъярк. В губе Кунчаст обследовали практически весь район, ограниченный мысом Кунчастъярк. В губе Молочная обловы также выполняли по всей акватории.

Ихтиологический материал отбирали при помощи ставных жаберных сетей в литоральной (береговой) и профундальной (придонной) зонах. Использовали набор сетей длиной 25 м, высотой 1,5 м, размерами ячеи 10, 12, 16, 18, 20, 30, 35, 40, 45, 50 мм. Это позволяло вылавливать рыб всех возрастных и размерных групп. В литоральной зоне сети устанавливали по одной перпендикулярно берегу, в профундальной зоне — в один ряд до 10 и более штук. В толще воды (пелагиали) отлов проводили плавными сетями длиной 25 м и высотой 3 м с указанными выше размерами ячеи. Расположение сетных порядков представлено на схеме исследованного района (рис. 1).

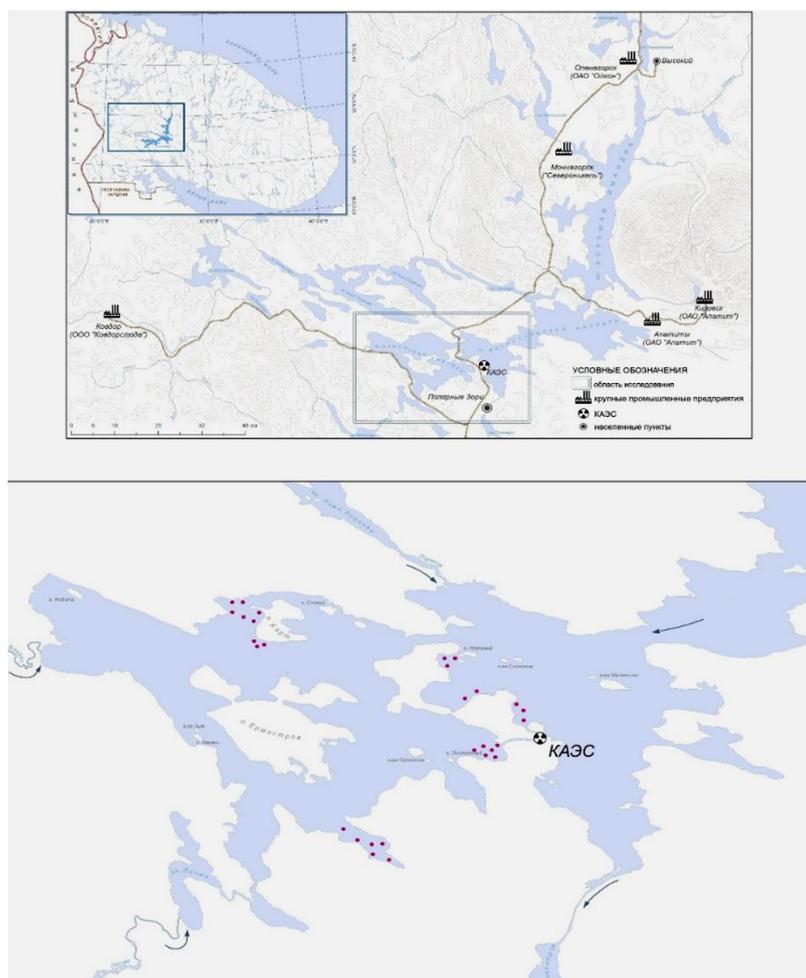


Рис. 1. Схема ихтиологических исследований в районе плеса Бабинская Имандра (точками обозначены места постановки сетей)

Ихтиологическая обработка включала характеристику индивидуальных показателей рыб (масса, длина, пол, стадия зрелости гонад, степень жирности и наполненности желудка) и определение возраста с применением соответствующих методик [Известия ..., 1956; Правдин, 1966; Мина, 1981].

Особей радужной форели, вырвавшихся из садков, определяли по значительным потертостям плавниковой каймы, что отличало их от рыб, самовоспроизводящихся в акватории озера (рис. 2).



Рис. 2. Радужная форель, выловленная в оз. Имандра: из садков (вверху) и натурализованная (внизу)

Всего было проанализировано 1173 экземпляра рыб: корюшка — 297, сиг — 263, окунь — 259, ряпушка — 125, ерш — 120, радужная форель — 29, хариус — 24, кумжа — 20, налим — 13, щука — 9, голец и карп — по 7 экз.

Для сравнительного анализа изменений рыбного населения Бабинской Имандры использовали архивные данные промысловой статистики и литературные источники.

## Результаты и обсуждение

### *Видовой состав ихтиофауны плеса Бабинская Имандра*

Трансформация структуры ихтиофауны Бабинской Имандры в период интенсивного промышленного воздействия 1960–2010-х гг. шла по пути снижения численности типичных представителей (сиговых и лососевых) и увеличения доли окуневых и корюшковых видов. В условиях многофакторного загрязнения и нерегулируемого вылова существенно сократилась численность арктического гольца и сиговых рыб [Моисеенко, Яковлев, 1990; Шарова, 2000; Антропогенные ..., 2002]. В ходе развития аквакультуры фауна рыб пополнилась двумя новыми видами — радужной форелью и обыкновенным карпом, которые в естественных условиях плеса сформировали устойчивые, способные к воспроизводству популяции. В настоящее время ихтиофауна Бабинской Имандры насчитывает 15 видов, принадлежащих к 9 семействам (табл. 1).

## Видовой состав рыб в уловах исследованного района Бабинской Имандры

Русское название	Латинское название	Период исследований, годы			
		1960–1970-е <sup>1</sup>	1980-е <sup>1</sup>	1990-е <sup>2</sup>	2000–2010-е <sup>3</sup>
<b>Сем. Лососевые (Salmonidae)</b>					
Кумжа	<i>Salmo trutta</i> L., 1758	++	+	+	+
Форель радужная, микижа	<i>Parasalmo mykiss</i> (Walb., 1792)	–	+++	++	*++
Голец арктический	<i>Salvelinus alpinus</i> (L., 1758)	+++	++	+	+
<b>Сем. Сиговые (Coregonidae)</b>					
Сиг обыкновенный	<i>Coregonus lavaretus</i> (L., 1758)	+++	++	++	++
Ряпушка европейская	<i>Coregonus albula</i> (L., 1758)	+++	++	+	++
<b>Сем. Хариусовые (Thymallidae)</b>					
Хариус европейский	<i>Thymallus thymallus</i> (L., 1758)	++	++	+	+
<b>Сем. Корюшковые (Osmeridae)</b>					
Корюшка европейская	<i>Osmerus eperlanus</i> (L., 1758)	–	–	+	+++
Снеток		+	–	–	–
<b>Сем. Окуневые (Percidae)</b>					
Окунь речной	<i>Perca fluviatilis</i> L., 1758	+	+	++	+++
Ёрш обыкновенный	<i>Gymnocephalus cernuus</i> L., 1758	+	+	++	+++
<b>Сем. Щуковые (Esocidae)</b>					
Щука обыкновенная	<i>Esox lucius</i> L., 1758	+	+	+	+
<b>Сем. Налимовые (Lotidae)</b>					
Налим	<i>Lota lota</i> (L., 1758)	+	+	+	+
<b>Сем. Карповые (Cyprinidae)</b>					
Карп обыкновенный	<i>Cyprinus carpio</i> L., 1758	–	+	++	*++
Язь	<i>Leuciscus idus</i> L., 1758	+	–	–	–
Гольян обыкновенный	<i>Phoxinus phoxinus</i> (L., 1758)	++	++	++	++
<b>Сем. Колюшковые (Gasterosteidae)</b>					
Колюшка девятииглая	<i>Pungitius pungitius</i> (L., 1758)	++	++	++	++

Примечания: 1. «–» вид отсутствует; «+» редко встречается; «++» широко распространен; «+++» доминант; \* распространен только в губе Молочная.

2. <sup>1</sup> Крючков и др., 1985; <sup>2</sup> Антропогенные..., 2002; <sup>3</sup> собственные данные.

### Состояние популяций отдельных видов рыб

*Кумжа (Salmo trutta)*. В период допромышленного освоения Мурманской области (начало 1930-х гг.) вылов кумжи в оз. Имандра составлял от 75 до 300 ц в год. К середине 1960-х гг. уловы сократились до 100 кг, и в последующие десятилетия данные о вылове кумжи уже не регистрировались промысловой статистикой [Крючков и др., 1985; Антропогенные ..., 2002]. По материалам исследований начала 2010-х гг. доля кумжи в уловах составляла около 2 %. В настоящее время этот вид редко встречается в оз. Имандра.

В 1950–1960-х гг. наиболее крупные экземпляры кумжи в бассейне Имандры достигали массы 4,45–5,75 кг при длине 71–76 см [Владимирская, 1951; Галкин и др., 1966 а]. Отдельные особи массой более 6 кг и длиной 71 см встречались в 1990-е гг. [Крючков и др., 1985; Антропогенные ..., 2002]. Результаты наших исследований показали заметное измельчание кумжи. В выборке 2011 г. средние размеры рыб составляли 31,9 см (от 20,8 до 44,9 см) при массе 487 г (от 125 до 1165 г). Наиболее крупные особи в возрасте пяти лет (4+) имели массу 1165 г и длину 44,9 см. Однако выловленные экземпляры старших возрастных групп имели меньшие линейные размеры и массу (табл. 2).

Таблица 2

Размерно-возрастные показатели кумжи в исследованном районе Бабинской Имандры

Показатели	Возраст рыб, годы			
	3+	4+	5+	6+
Масса, г	410 125–793	518 145–1165	466 250–726	912 759–1065
Длина, см	29,8 20,8–38,2	32,7 22,2–44,5	32,4 27,0–38,0	41,4 37,8–44,9
Доля рыб в возрастной группе, %	29	43	19	9

Примечание. В числителе — среднее значение, в знаменателе — пределы варьирования.

По свидетельствам рыболовов-любителей, в пределах Бабинской Имандры и в настоящее время встречаются крупные, до 3 кг, экземпляры кумжи, однако значительно реже по сравнению с периодом 1970-х гг. Несмотря на благоприятные кормовые условия для нагула хищной кумжи, фактором, сдерживающим рост ее численности, является ограниченное число нерестилищ и их неэффективная охрана. Большинство крупных рек, в которых размножается кумжа, утратили свое значение как нерестилища и выростные угодья для молоди вследствие антропогенного загрязнения. Современный статус кумжи в пределах акватории Бабинской Имандры соответствует статусу вида редко встречающегося и нуждающегося в охране. Кумжа относится к высокоценным промысловым породам, обладает исключительной биоиндикационной значимостью, регулирует численность остальных видов рыб и, в итоге, определяет структуру ихтиофауны пресноводных водоемов Субарктики. Численность кумжи может быть существенно увеличена за счет рыболовных мероприятий. Восстановление популяции этого хищника до уровня, характерного для раннего индустриального периода, позволит в значительной степени урегулировать возрастающую численность европейской корюшки и других малоценных в промысловом отношении видов, формирующих в настоящее время ядро ихтиофауны оз. Имандра.

Радужная форель (*Parasalmo mykis*) вселилась в акваторию Бабинской Имандры в результате повреждений садков форелевого хозяйства, функционирующего в устье сбросного канала Кольской АЭС с 1974 г. [Лукин, 1998]. Первые особи в губе Молочная были зарегистрированы практически сразу после введения в эксплуатацию рыбопроизводного комплекса, а спустя год в контрольных уловах отмечались рыбы трех возрастных групп: 0+, 1+, 2+. В дальнейшем с расширением хозяйства численность форели в открытой части водоема резко увеличилась, и во второй половине 1980-х гг. она встречалась практически по всей акватории оз. Имандра. К этому периоду приурочено начало естественного воспроизводства форели с формированием группировок по размерным признакам и растянутым нерестовым периодом. Специфический температурный режим и благоприятные для нереста условия в канале сброса подогретых вод оказались фактором, ограничивающим массовое развитие и экспансию форели по акватории озера. Однако значительные флуктуации температурного режима КАЭС в начале 1990-х гг. привели к нарушениям воспроизводства этого вида [Лукин, 1998].

Современная популяция радужной форели ограничена губой Молочная и сохраняется благодаря постоянному притоку особей из садков, что, в свою очередь, определяет неоднородность ее размерно-весовой и возрастной структуры. По материалам уловов 2011 г. в пределах губы Молочная форель представлена разновозрастными особями (2+ ... 4+), среди которых преобладают рыбы длиной 24–32 см и массой 200–500 г (рис. 3).

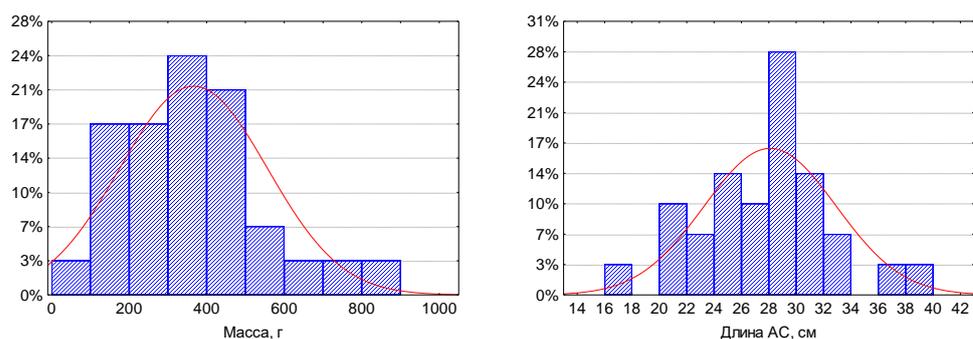


Рис. 3. Распределение радужной форели в губе Молочная Бабинской Имандры по размерному и весовому показателям

Размерно-весовые показатели форели в уловах варьировали от 16,3 до 38,3 см и от 63 до 886 г. Анализ показателей линейного и весового роста показал, что по мере образования и распространения самовоспроизводящейся группировки форели в пределах влияния теплых вод КАЭС первоначально происходило увеличение средних размеров и массы рыб. Однако в последние десятилетия проявляется обратная тенденция, обусловленная процессами нарушения воспроизводства форели и снижения ее численности в результате интенсивного браконьерского вылова с изъятием наиболее крупных особей (рис. 4). На численность и размерно-весовые характеристики радужной форели негативно влияет возрастающая пищевая конкуренция с другими видами рыб, в том числе короткоцикловыми (корюшка, ерш). Размерно-весовые характеристики современной форелевой группировки в губе Молочная в значительной степени определяют рыбы, попадающие в открытую часть водоема из садков форелевого хозяйства, их доля в уловах составляет около 30 %.

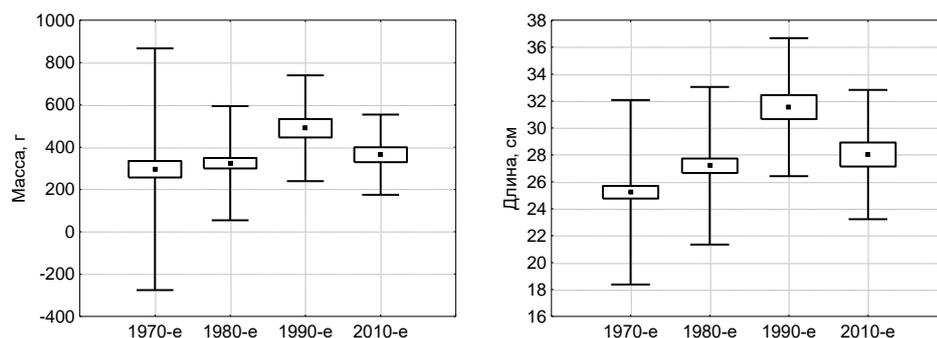


Рис. 4. Размерно-весовые показатели радужной форели в губе Молочная в разные периоды исследований

Радужная форель, распространенная главным образом в губе Молочная, из-за невысокой численности не способна влиять на формирование структуры рыбного населения оз. Имандра в целом. Однако многообразие окультуренных форм, разводимых в форелевом хозяйстве в ходе нескольких десятилетий, на основе которых происходит постоянное обновление популяции этого вида в оз. Имандра, может представлять опасность распространения специфических болезней и паразитарных инвазий, присущих объектам аквакультуры и, в частности, радужной форели Белого, Балтийского и морей дальневосточного бассейна [Рыжков и др., 2007; Барская и др., 2008; Kitano, 2004]. Перспектива развития популяции радужной форели в акватории Бабинской Имандры напрямую зависит от температурного режима и условий воспроизводства. Контроль за численностью этого вида в губе Молочная должен включать мероприятия, препятствующие постоянному «притоку» в озеро особей из садков форелевого хозяйства.

*Арктический голец (Salvelinus alpinus)* ранее был многочисленным в Бабинской Имандре. Во второй половине прошлого века основные нерестилища этого вида располагались в узкой, обрывистой, завалуненной литоральной зоне глубоководных губ плеса. В уловах начала 1960-х гг. доля гольца в Бабинской Имандре достигала 58,7 % [Галкин и др., 1966 а]. Более поздние исследования регистрировали значительное сокращение численности и доминирования особей младших возрастных групп по всей акватории озера [Смирнов, 1977; Моисеенко, 1980; Владимирская, 2002; Антропогенные ..., 2002]. Массовый браконьерский лов гольца на нерестилищах в Бабинской Имандре, нарушение его воспроизводства вследствие загрязнения вод в Йокостровской и Большой Имандре, изменения гидрологического режима озера привели к практически полному исчезновению вида. Его численность в последнее десятилетие продолжает стремительно снижаться. По данным Полярного Научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО), доля гольца в общих уловах в 2010 г. (промысловый и любительский лов) не превышала 2 % или около 2 т [Характеристика... 2011]. В середине 1990-х гг. отдельные экземпляры гольца еще встречались в северной и центральной частях Большой Имандры и северной части Йокостровской Имандры. Длина наиболее крупных особей достигала 63 см, масса превышала 3 кг [Галкин и др., 1966а, Антропогенные ..., 2002]. В 2011–2012 гг. в уловах в районе губы Белой и островов Кумужий и Йокостров арктический голец отсутствовал. В Бабинской Имандре, где в доиндустриальный период голец был доминирующим видом, его численность и размерно-весовые показатели снизились (табл. 3).

Таблица 3

Размерно-возрастная характеристика арктического гольца в Бабинской Имандре в разные периоды исследований

Период	Показатель	Возраст рыб, годы								Количество экз.
		1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	
1972–1973 <sup>1</sup>	Длина, см	20,2	26,5	32,3	36,8	40,1	44,2	49,2	51,2	285
	Масса, г	72,5	224	375	537	736	1010	1392	1700	
	Возрастной состав, %	1,0	4,0	39,8	24,2	13,2	14,2	2,4	1,2	
1975–1976 <sup>1</sup>	Длина, см	–	25,5	31,8	35,3	39,0	46,3	49,0	–	85
	Масса, г	–	170	352	524	680	1060	1300	–	
	Возрастной состав, %	–	4,4	17,8	22,1	33,5	17,8	4,4	–	
1979 <sup>1</sup>	Длина, см	–	23,2	30,4	34,8	40,2	49,0	53,7	61,0	55
	Масса, г	–	100	335	578	803	1073	1580	2580	
	Возрастной состав, %	–	5,5	14,5	34,6	12,7	21,8	7,3	3,6	
1983 <sup>1</sup>	Длина, см	–	–	34,5; 39,0	–	–	–	–	–	2
	Масса, г	–	–	580; 700	–	–	–	–	–	
	Возрастной состав, %	–	–	100	–	–	–	–	–	
1996 <sup>2</sup>	Длина, см	–	–	–	38,0	40,0	–	–	–	9
	Масса, г	–	–	–	593	757	–	–	–	
	Возрастной состав, %	–	–	–	45	55	–	–	–	
2011 <sup>3</sup>	Длина, см	–	17,3	22,5	30,5	35,6	43,5	–	–	7
	Масса, г	–	46	83	335	473	1959	–	–	
	Возрастной состав, %	–	14,3	28,6	28,6	14,3	14,3	–	–	

Примечание. <sup>1</sup> Крючков и др., 1985; <sup>2</sup> Антропогенные..., 2002; <sup>3</sup> собственные данные.

В уловах 2011 г. в исследованном нами районе голец был представлен немногочисленными разновозрастными особями лишь в губе Кунчаст. Возраст самого крупного экземпляра длиной 43,5 см и массой 1,96 кг равнялся семи годам. Средняя длина рыб не превысила 29,4 см, средняя масса — 493 г. Возрастной состав рыб в уловах свидетельствовал о значительном нарушении условий воспроизводства этого вида в пределах всей акватории оз. Имандра. Численность арктического гольца находится в критическом состоянии, и необходимы срочные мероприятия по сохранению этого вида. Экспертная оценка ПИНРО по общему допустимому улову (ОДУ) гольца в оз. Имандра в 2011 и 2012 гг. предполагала изъятие 0,5 т рыбы ежегодно. В условиях фактической оценки численности гольца в пределах Бабинской Имандры эта цифра требует пересмотра. Снижение численности гольца, как и кумжи, отсутствие конкурентного числа других хищных видов рыб вызывает нарушение структурно-функциональной организации рыбного населения оз. Имандра, ведет к доминированию малоценных видов (корюшка, ерш). Несмотря на то, что арктический голец — холодолюбивый вид, и его искусственное воспроизводство представляет большие трудности по сравнению с кумжей и сигом, в качестве меры по сохранению и увеличению его численности в Бабинской Имандре рекомендуется его искусственное воспроизводство.

*Cuz (Coregonus lavaretus)* в доиндустриальные годы был доминирующим видом рыб в Имандре наряду с ряпушкой. Его ежегодный вылов достигал 300–500 ц [Галкин и др., 1966 а, б; Смирнов, 1977]. На период исследований 2011 и 2012 гг. общий допустимый улов сига для оз. Имандра составлял, по данным ПИНРО, 10 т ежегодно.

В уловах 2011 г. сиг был представлен среднеразмерными особями длиной 26,6 см и массой около 250 г. Наиболее крупные экземпляры длиной 28–34 см и массой 300–550 г встречались в губе Молочная и отличались относительно высокими темпами роста. Аналогичные особенности были выявлены у рыб в губе Кунчаст. Так, сиг длиной 43,6 см и массой 1350 г имел возраст восемь лет. Основу выборки составляли особи длиной 20–35 см и массой до 400 г. Вблизи пролива Узкая Салма сига были мелкими: до 20 см и 200 г. В районе о. Хорт и губы Кунчаст средние размерно-весовые показатели сигов статистически не различались, в то время как в южной части Йокостровской Имандры рыбы были достоверно мельче, чем в губах Молочная ( $t = 7,57$ ;  $p > 0,99$ ) и Бабинская Имандра ( $t = 3,39$ ;  $p > 0,99$ ). В двух последних губах отличия размеров и массы рыб также были статистически достоверны ( $t = 3,27$ ;  $p > 0,99$ ). В связи с установленными статистическими различиями дальнейший анализ размерно-весовой структуры популяции сига проводили отдельно для районов Йокостровской, Бабинской Имандры и участка подогрева вод в губе Молочная. Характер размерно-весового распределения сигов в этих районах отражает стимулирующее влияние температурного фактора (рис. 5). Это может быть связано с увеличением темпов роста [Денисов и др., 2017]. В условиях подогрева вод и обилия остатков кормов форелевого хозяйства интенсивность питания сига в губе Молочная не снижается в течение всего года.

В 1980-х гг. в зоне влияния подогретых вод Кольской АЭС, в условиях интенсивного нагула, было выявлено сезонное ускорение полового созревания сигов — в мае–июне (Крючков и др., 1985). В конце октября 2011 г. в уловах не встречались рыбы, готовые к нересту. Вероятно, данная часть акватории Бабинской Имандры привлекает богатыми кормовыми условиями наиболее крупных особей и используется ими лишь в качестве нагульной.

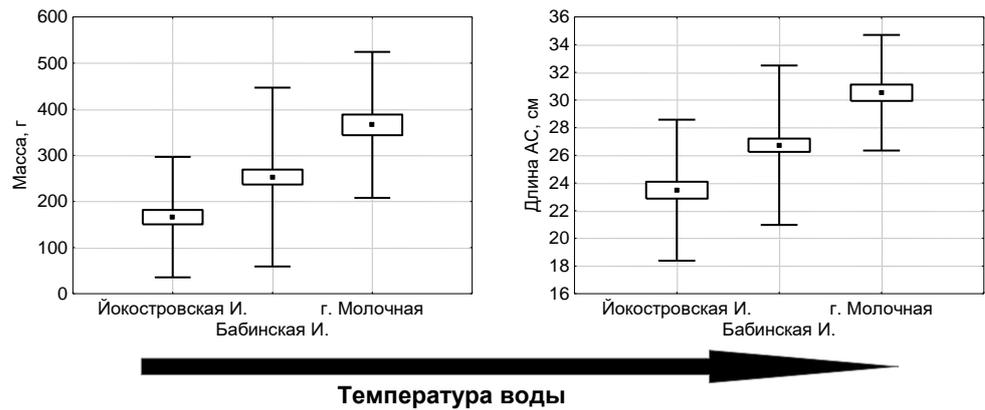


Рис. 5. Размерно-весовые показатели сига в Йокостровской, Бабинской Имандре и в зоне подогрева вод в губе Молочная

Размерно-весовые показатели сига в губе Молочная могли быть наиболее высокими и по причине отсутствия в уловах рыб младших возрастных групп. Отсутствие в возрастном составе группировки сига как особей младших возрастов, так и рыб старше восьми лет может свидетельствовать об использовании популяцией данной части плеса в качестве нагульной территории.

Несмотря на относительную географическую близость районов, исследованных в пределах Бабинской Иманды и пролива Узкая Салма (Йокостровская Имандра), возрастной состав сегов в них характеризовался неоднородностью. В Бабинской Имандре (губа Кунчаст и о. Хорт) доминировали четырех-шестилетние особи, возрастная структура была наиболее близка к естественной, типичной для водоемов Мурманской области и приграничных районов северной Норвегии и Финляндии и, несмотря на отсутствие рыб старше семи лет, свидетельствовала о благоприятных условиях для нереста сига и нагула рыб всех возрастных групп. В губе Молочная отсутствовали особи младше двух лет и старше восьми лет; последний факт может быть связан с браконьерством и селективным изъятием более крупных особей. В южной части Йокостровской Имандры — Узкой Салме преобладали трехлетние рыбы (2+). Особи старше шести лет встречались единично. По-видимому, условия указанного района наиболее благоприятны для развития сегов младших возрастных групп (рис. 6).

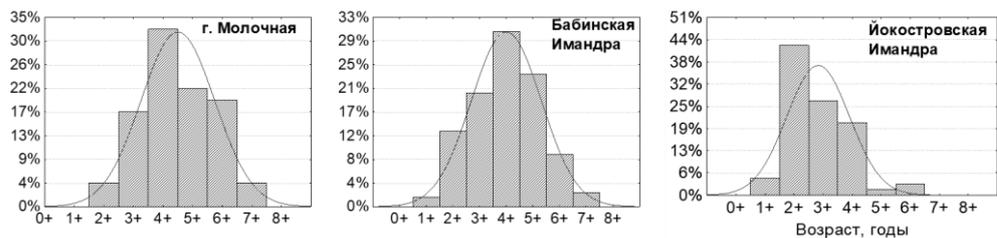


Рис. 6. Возрастная структура популяций сига в Йокостровской, Бабинской Имандре и в зоне подогрева вод в губе Молочная

Рассматривая особенности темпов роста сига, необходимо отметить, что в настоящее время интенсивность межгодовых приростов рыб значительно возросла по сравнению с аналогичными показателями 1960-х гг. (рис. 7). Характер темпов роста сига в Бабинской Имандре в современных условиях аналогичен таковому у рыб в 1970-е гг. (табл. 4). В 1990-е гг. размерно-весовой рост сига значительно снизился, вероятно, в связи с максимальной антропогенной нагрузкой на водоем. В то же время показатели линейно-весового роста у сига в губе Молочная на протяжении всего периода исследований не имели значительных различий за счет благоприятных условий питания и температурного режима, обеспечивающего круглогодичную активность рыб (табл. 5). Таким образом, состояние населения рыб плеса Бабинская Имандра, сохраняющего черты природного водоема, отражает его развитие в историческом масштабе, в то время как для губы Молочная изменение температурного режима и влияние объектов аквакультуры сглаживают негативное влияние токсичности среды на процессы весового и линейного роста рыб.

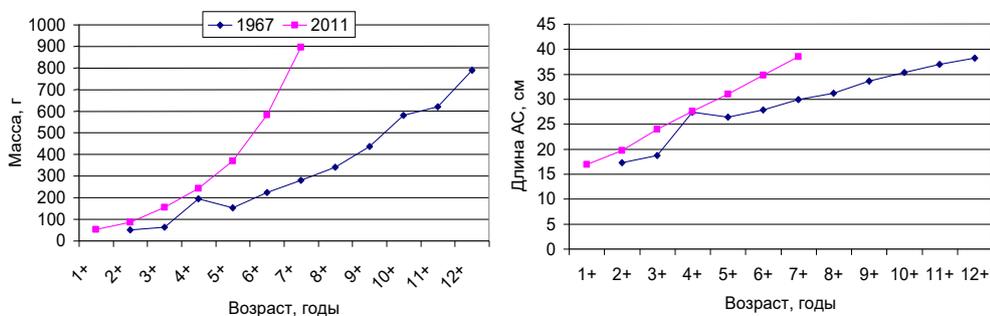


Рис. 7. Зависимость весового и линейного роста сига в Бабинской Имандре в различные периоды исследований

Сиг, составляющий ранее основное богатство оз. Имандра, в последние десятилетия значительно сократил свою численность, снизились его размерно-весовые показатели и продолжительность жизни. Современный статус вида можно охарактеризовать как часто встречающийся, однако популяция в оз. Имандра поддерживается главным образом за счет группировок рыб из придаточных озерно-речных систем. Являясь ценным промысловым видом, сиг, как кумжа и арктический голец, нуждается в охране и восстановлении популяции в ходе рыбоводных мероприятий. Необходимо ввести ограничение на промысел сига и жесткий контроль за его незаконным изъятием. Отсутствие мер по сохранению сиговых, как и лососевых видов, в ближайшее время может привести к стремительной деградации всей ихтиофауны оз. Имандра.

Размерно-возрастная характеристика сига в Бабинской Имандре в разные периоды

Период	Показатель	Возраст рыб, годы										Количество экз.
		1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	
1972–1973 <sup>1</sup>	Длина, см	–	20,1	27,2	28,6	29,6	32,0	35,0	42,2	–	–	203
	Масса, г	–	105	191	236	288	393	581	1062	–	–	
	Возрастной состав, %	–	0,7	3,8	29,8	35,3	23,2	5,8	1,4	–	–	
1978–1979 <sup>1</sup>	Длина, см	–	22,4	26,6	28,2	30,3	33,0	36,5	43,7	–	–	81
	Масса, г	–	124	180	231	303	221	565	1400	–	–	
	Возрастной состав, %	–	2,3	6,5	24,5	42,8	19,4	3,7	0,8	–	–	
1996–1997 <sup>2</sup>	Длина, см	–	15,4	19,9	24,4	26,7	28,1	31,3	31,9	29,0	32,5	113
	Масса, г	–	32	70	137	200	235	342	364	282	351	
	Возрастной состав, %	–	19	9	23	29	18	17	7	1	2	
2011 <sup>3</sup>	Длина, см	16,5	18,4	22,5	26,9	29,3	32,3	34,6	–	–	–	140
	Масса, г	50	63	121	221	299	438	583	–	–	–	
	Возрастной состав, %	0,7	13,6	18,6	27,9	20,0	12,9	6,4	–	–	–	

Примечание. <sup>1</sup> Крючков и др., 1985; <sup>2</sup> Антропогенные..., 2002; <sup>3</sup> собственные данные.

Размерно-возрастная характеристика сига в губе Молочная Бабинской Имандры

Период	Показатель	Возраст рыб, годы									Количество экз.
		1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	
1972–1973 <sup>1</sup>	Длина, см	–	22,7	24,3	26,8	29,6	32,0	35,6	–	–	115
	Масса, г	–	131	175	228	286	368	532	–	–	
	Возрастной состав, %	–	7,0	21,0	24,0	22,4	29,6	10,6	–	–	
1978–1979 <sup>1</sup>	Длина, см	–	–	27,6	28,8	30,7	32,8	40,5	45,5	–	213
	Масса, г	–	–	205	271	341	468	1100	1600	–	
	Возрастной состав, %	–	–	15,1	44,2	34,8	5,1	0,4	0,4	–	
1983 <sup>1</sup>	Длина, см	–	26,9	28,6	30,4	32,4	34,5	38,0	45,5	–	122
	Масса, г	–	184	251	317	416	574	675	1220	–	
	Возрастной состав, %	–	8,2	40,2	36,9	8,2	4,1	1,6	0,8	–	
2011 <sup>2</sup>	Длина, см	–	–	23,3	27,2	30,9	32,1	35,3	–	–	50
	Масса, г	–	–	144	261	367	423	549	–	–	
	Возрастной состав, %	–	–	10	12	40	28	10	–	–	

Примечание. <sup>1</sup> Крючков и др., 1985; <sup>2</sup> собственные данные.

*Европейская ряпушка (Coregonus albula)* в период становления промышленности в Мурманской области была одним из основных видов ихтиофауны оз. Имандра. Еще в середине прошлого века озеро имело статус ряпушко- сигаового с встречающимся гольцом [Галкин и др., 1966 б]. Ряпушка относится к короткоцикловым видам, предельный возраст рыб составляет пять лет. Однако по данным промысловых уловов осенью 1967 г. в районе о. Ерм она была представлена шестью возрастными группами: от сеголеток до шестилеток [Смирнов, 1977]. Основная масса улова состояла из трех- и четырехлеток, значительными были доли двух- и пятилеток. В 1972–1973 гг. в Бабинской Имандре основу популяции ряпушки составляли трех- и четырехлетки (табл. 6). Длина тела рыб в эти годы варьировала от 8,0 до 15,0 см (в среднем 12 см), масса — от 4 до 34 г (в среднем 16 г).

Таблица 6

Размерно-возрастная характеристика ряпушки в Бабинской Имандре

Период	Район плеса	Показатель	Возраст рыб, годы						Количество экз.
			0+	1+	2+	3+	4+	5+	
1960 <sup>1</sup>	–	Длина, см	–	12,0	13,0	15,0	–	–	80
		Масса, г	–	11,3	12,2	14,5	–	–	
		Возрастной состав, %	–	17,5	77,5	5,0	–	–	
1967 <sup>2</sup>	О. Ерм	Длина, см	8,8	10,9	11,8	13,6	14,6	15,5	909
		Масса, г	6,4	12,0	16,0	22,0	30,0	40,0	
		Возрастной состав, %	1,8	16,3	45,5	21,8	12,9	1,7	
1972 <sup>3</sup>	О. Хорг	Длина, см	8,8	10,9	12,6	14,0	–	–	271
		Масса, г	5,9	11,1	17,6	25,3	–	–	
		возрастной состав, %	11,7	18,5	55,8	14,0	–	–	
1973 <sup>3</sup>	О. Хорг	Длина, см	8,6	10,3	11,7	13,6	–	–	106
		Масса, г	5,7	10,2	16,4	22,4	–	–	
		возрастной состав, %	1,6	13,9	66,7	17,8	–	–	
1973 <sup>3</sup>	Узкая Салма	Длина, см	–	–	12,2	13,8	14,4	–	50
		Масса, г	–	–	18,7	24,7	30,4	–	
		возрастной состав, %	–	–	70,0	28,0	2,0	–	
2011 <sup>4</sup>	Губа Кунчаст	Длина, см	–	10,3	–	21,4	16,0	–	5
		Масса, г	–	7,7	–	84,0	35,0	–	
		возрастной состав, %	–	60,0	–	20,0	20,0	–	
2011 <sup>4</sup>	Губа Молочная	Длина, см	9,9	10,9	11,5	–	17,9	–	102
		Масса, г	6,0	7,6	8,4	–	59,0	–	

Примечание. <sup>1</sup>Галкин и др., 1966; <sup>2</sup>Смирнов, 1967; <sup>3</sup>Моисеенко, 1980; <sup>4</sup>собственные данные.

До 1972 г. скопления нерестовой ряпушки отмечали в районе Узкой Салмы, но из-за образования перешейка при строительстве Кольской АЭС подходы рыбы в этот район прекратились. После ввода в эксплуатацию Кольской АЭС на протяжении 1975–1979 гг. в губе Молочная и прилегающей акватории, то есть в зоне влияния подогретых сбросных вод, ряпушка как холодолюбивый вид отсутствовала.

Неблагоприятным фактором также было наличие взвесей в воде после строительства гидротехнических сооружений. В 1980-х гг. ряпушка вновь появилась в уловах. Массовые подходы рыбы к зоне подогретых вод КАЭС наблюдались в весенний и осенний периоды [Оценка ..., 1987]. После перехода первой очереди КАЭС на полную мощность в 1978 г. встал вопрос об оценке ущерба

рыбным запасам при заборе воды для нужд предприятия. Ихтиологические работы были проведены в 1989–1990, 2004 и 2010 гг. в губе Глубокая, откуда берет начало водоподводящий канал КАЭС. В сетных уловах ряпушка отсутствовала, и возрастной состав особей был учтен на основе материалов, собранных на сетках насосных станций, где ряпушка составляла 66 % численности и 55 % биомассы всей погибшей рыбы. Возрастная структура популяции насчитывала три группы с доминированием двухлеток. Средняя навеска ряпушки в 2004 г. составляла 5,7 г, в 2010 г. — 6,2 г [Оценка ..., 2004; Ихтиологические наблюдения, 2010].

Тепловое загрязнение вод Бабинской Имандры и изменение гидрологического режима негативно сказались на воспроизводстве ряпушки и арктического гольца. До 1972 г. скопления нерестовых рыб отмечали в районе Узкой Салмы. После образования перешейка при строительстве Кольской АЭС и термификации вод подходы ряпушки в этот район прекратились.

В настоящее время численность вида в исследованном районе значительно сократилась. По материалам наших исследований ряпушка была наиболее обильна в губе Молочная и встречалась как в толще воды, так и вблизи берегов. Основную часть улова составляли особи в возрасте двух–трех лет, длиной 9–12 см и весом до 15 г (рис. 8). Наиболее крупные рыбы в возрасте пяти лет достигали размеров 17,9 см и массы 59 г. В остальных районах доля вида в уловах не превышала 4 %, однако в районе губы Кунчаст ряпушка отличалась более высокими показателями: до 21,4 см и 84 г. Современные размерно-весовые показатели ряпушки в Бабинской Имандре в среднем выше, чем в 1960–1990-х гг. Так, средняя масса рыб в 1967 г. составляла 18 г, в 1973 — 15,2 г, в 2011 — 25 г. Средняя длина в указанные годы равнялась 12,7, 12,5 и 13,2 см соответственно.

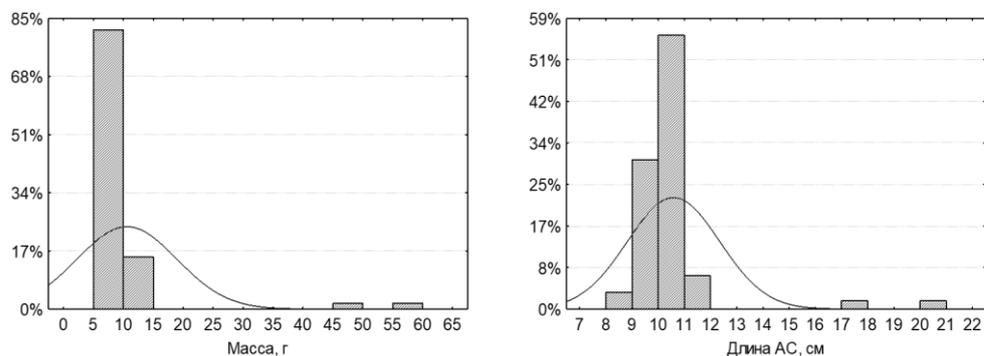


Рис. 8. Распределение ряпушки по размерно-весовым показателям в губе Молочная Бабинской Имандры в 2011–2012 гг.

В целом численность ряпушки как короткоциклового вида подвержена значительному варьированию: она может быстро увеличиваться, однако влияние теплового загрязнения и флуктуации гидрологического режима плеса в значительной степени нарушают воспроизводство этого вида. Относительно многочисленные группировки ряпушки в губе Молочная могут быть мигрантами из Йокостровской Имандры и привлекаются сюда, как и другие виды рыб, кормовыми ресурсами. Перспективы развития ряпушки в структуре ихтиофауны Бабинской Имандры сходны с таковыми для сига и требуют контроля. С увеличением доли «нетипичных хищников»

из семейств корюшковые и окуневые (ерш) интенсивность воздействия на популяцию ряпушки значительно возрастает. В 2012 г. ряпушка была исключена из перечня видов, для которых устанавливается ОДУ, что еще в большей степени повлияет на динамику численности данного вида в акватории оз. Имандра.

*Речной окунь (Perca fluviatilis)* в Бабинской Имандре — относительно многочисленный вид. В районе о. Хорт он встречался практически повсеместно, его доля в уловах достигала 50 %. Средняя масса рыб не превышала 186 г при длине 22,4 см, у наиболее крупных экземпляров — 560 г и 31 см соответственно. Крупные особи, как правило, вылавливались в придонных слоях. На переходных участках от литорали к дну и прибрежных каменистых участках преобладали менее крупные рыбы длиной 22–26 см и массой 150–250 г. Возраст наиболее крупных экземпляров составлял шесть лет. В целом размерно-весовые показатели окуня в районе о. Хорт были выше по сравнению с другими участками Бабинской Имандры и южной части Йокостровского плеса, что связано с благоприятными условиями нагула.

В губе Молочная за счет термификации вод и обилия остатков кормов форелевого хозяйства также встречаются крупные окуни, но в настоящее время их численность здесь невелика. Окунь распространен и в южной части Йокостровской Имандры. В летне-осенний период были отмечены скопления рыб вблизи подводного канала КАЭС (губа Глубокая); средние размерно-весовые показатели окуня здесь были выше, чем в губах Кунчасть и Молочная (рис. 9), возраст наиболее крупных рыб достигал восьми лет. Возрастная структура популяции характеризовалась отсутствием отдельных возрастных групп. По результатам исследований 1970–1990-х гг., средние величины длины и массы окуня в Бабинской Имандре не превышали 21,8 см и 157 г соответственно [Антропогенные ..., 2002].

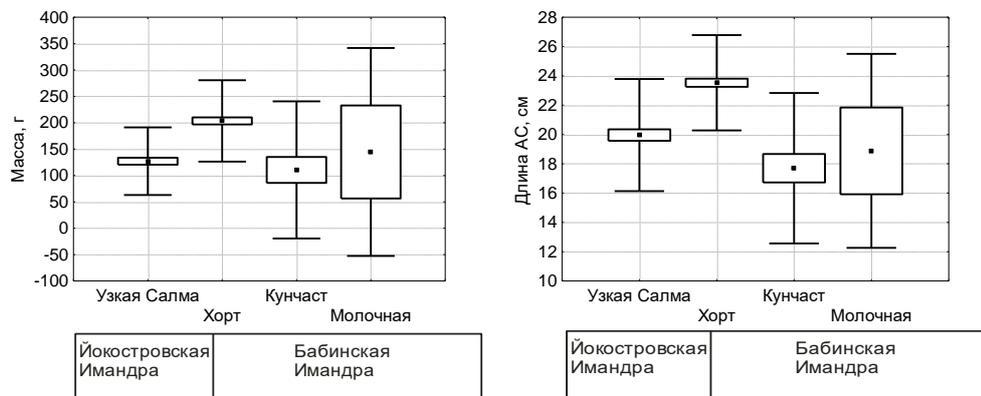


Рис. 9. Размерно-весовые показатели окуня в районах Йокостровской и Бабинской Имандры

В настоящее время следует отметить увеличение не только размерно-весовых показателей, но и численности окуня в уловах, которая, однако, сдерживается отсутствием нерестилищ. Осушение литоральной зоны в весенний период в результате зимней сработки воды препятствует развитию высшей водной растительности, приводит к сокращению мест, пригодных для нереста, и, вследствие этого, размножению окуня в водоемах придаточных озерно-речных систем. Возрастание численности окуня обусловлено прежде всего снижением

пресса хищных видов рыб, поскольку условия его воспроизводства в оз. Имандра в последние десятилетия практически не изменялись и определяются значительными флуктуациями уровня режима в связи с функционированием объектов гидроэнергетики. Присущий окуню полиморфизм и высокий потенциал в пищевой конкуренции с другими видами рыб в перспективе выводит этот вид на лидирующие позиции в структуре рыбного населения водоема.

*Ерш (Gymnocephalus cernuus)*, как и окунь, широко распространен в бассейне оз. Имандра. Ранее его встречаемость была крайне низкой, рост численности отмечался лишь в отдельные периоды [Галкин и др., 1966 б]. В последние годы по всей акватории озера численность ерша в уловах возросла. В районе Узкой Салмы преимущественно преобладали рыбы размером до 15 см и массой до 10 г. Более крупные особи были отмечены единично. Средние показатели рыб не превышали 14,5 см и 34 г. В губе Молочная средние размерно-весовые показатели ерша были выше по сравнению с другими исследованными районами, что обусловлено температурным фактором и благоприятными условиями нагула (рис. 10). Влияние температурного фактора для ерша менее выражено, чем для сига. Это объясняется тем, что ерш в районе мелководной и хорошо прогреваемой литорали Узкой Салмы (Йокостровская Имандра) обитает в более кормных условиях, аналогичных губе Молочная.

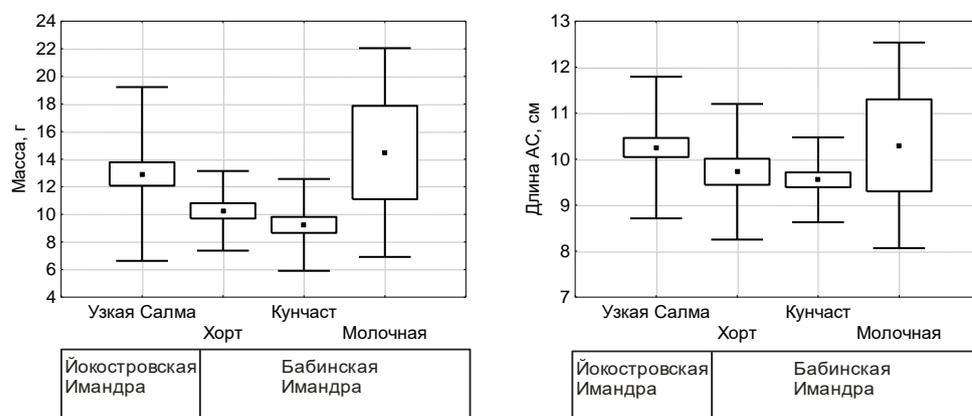


Рис. 10. Размерно-весовые показатели ерша в районах Йокостровской и Бабинской Имандры

*Корюшка (Osmerus eperlanus)* — один из видов, увеличивающих свою численность в оз. Имандра в последние десятилетия. В ряде районов озера этот вид становится доминирующим [Терентьев и др., 2016]. Ранее основу уловов корюшки составляла ее мелкая форма, называемая снетком [Крогиус, 1926; Галкин и др., 1966 а, б; Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные ..., 2002]. В 1960-е гг. средние размерно-весовые показатели рыб составляли 15,4 см (9,5–19 см) и 26 г (5–53 г) [Галкин и др., 1966 а; Смирнов, 1977]. В настоящее время они увеличились до 17,9 см и 43 г. Наиболее крупные особи отмечены в губе Кунчаст и вблизи о. Хорт (рис. 11). Основу выборки здесь образуют рыбы длиной 17–20 см и массой 40–60 г. Крупные экземпляры достигают длины 24 см и массы 97 г. Возраст корюшки не превышает пяти лет. Таким образом, отмечается тенденция к увеличению размерно-весовых показателей и численности корюшки в структуре рыбного населения оз. Имандра. Это, в свою очередь, сопровождается переходом крупных особей на хищный образ жизни, усилением конкурентных пищевых взаимодействий с другими хищными видами рыб, перестройкой комплексов доминантных видов рыб.

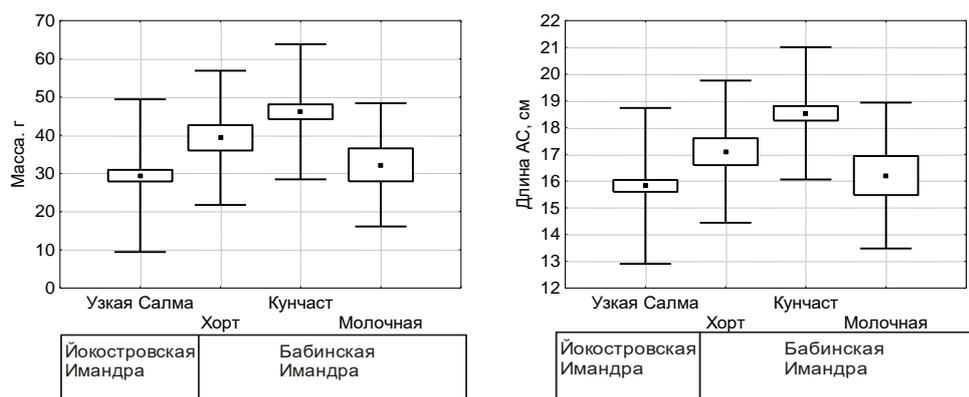


Рис. 11. Размерно-весовые показатели корюшки в районах Йокостровской и Бабинской Имандры

Известно, что в весенний нерестовый период корюшка образует значительные скопления и массово заходит в реки бассейна оз. Имандра главным образом плесов Большой и Йокостровской Имандры. Несмотря на неконтролируемый интенсивный лов в указанный период, рост численности и доминирование корюшки в составе сообщества рыб обеспечивается биологическими особенностями данного вида: эврифагией, коротким жизненным циклом, неприхотливостью к качеству вод и условиям воспроизводства. В настоящее время экспансия корюшки распространяется на район Бабинской Имандры. Мерой регулирования численности корюшки может стать временное снятие ограничений на ее промысел, в особенности в нерестовые периоды, сопровождающиеся массовыми скоплениями рыб.

*Карп (Carpinus carpio)* появился в Бабинской Имандре в результате неудачного эксперимента по его выращиванию в губе Молочная на месте нынешнего форелевого хозяйства. В 1974 г. после стремительного снижения численности вследствие гибели в садках, оставшаяся часть поголовья была выпущена в акваторию озера. С начала 1980-х гг. численность карпа возросла и достигла максимума в 1988–1989 гг. В этот период регистрировались крупные особи длиной 89 см и массой до 9,8 кг в возрасте десяти лет [Антропогенные ..., 2002].

Для карпа характерны высокие темпы роста. Рыбы в возрасте пяти лет весят более килограмма. В пределах губы Молочная по свидетельствам рыбаков встречаются крупные особи массой более 3 кг. В 2011 г. карп в губе Молочная был представлен в уловах небольшим числом особей. Их размерно-весовые показатели варьировали от 15,5 до 34,3 см (в среднем 21,7 см) и от 78 до 1100 г (в среднем 320 г). Самостоятельная натурализация карпа стала возможной в результате благоприятных условий питания и температурного режима. Участки нерестилищ карпа, как и радужной форели, ограничены каналом сброса подогретых вод КАЭС. Сохранение численности карпа в указанном районе зависит исключительно от температурного режима воды в губе Молочная.

Остальные виды рыб были представлены в уловах единичными экземплярами. Наиболее крупные особи *хариуса (Thumallus thumallus)* в возрасте шести лет достигали длины 39 см и массы 625 г. В 1968 г. сходные показатели (40 см и 760 г) отмечали у хариусов в возрасте девяти лет [Смирнов, 1977]. В настоящее время темпы роста хариуса в Бабинской Имандре значительно возросли. *Налим (Lota lota)*, повсеместно отмечаемый в оз. Имандра, в уловы попадал редко. По данным проведенных нами исследований, его средние размерно-весовые показатели составляют 45,7 см и 630 г. *Щука (Esox lucius)* в уловах единична. Наиболее крупные особи массой до 3 кг

при длине 73 см обитают в районе о. Хорт. Основным фактором, сдерживающим рост численности щуки, как и окуня, является отсутствие нерестилищ. Воспроизводство этого хищника идет в основном в водоемах придаточных озерно-речных систем.

Численность указанных видов в оз. Имандра была низка в ходе исторического развития и, по-видимому, определяется комплексом факторов: межвидовыми взаимодействиями, условиями питания и воспроизводства, антропогенной трансформацией водоема. На современном этапе его функционирования для регулирования структуры ихтиофауны необходимо увеличение доли хищных видов. В качестве одной из мер можно рекомендовать искусственную культивацию высшей водной растительности в мелководных участках Бабинской Имандры и южной части Йокостровской Имандры, что является необходимым условием для успешного воспроизводства щуки.

### ***Структура рыбного населения Бабинской Имандры***

Анализ видового состава рыб в уловах и сравнение его с материалами предыдущих лет выявили изменения в структуре рыбной части сообщества оз. Имандра, отмеченные и в других водоемах Мурманской области. Численность лососевых и сиговых видов в уловах 2011–2012 гг. была значительно ниже по сравнению с данными более ранних исследований. Так, в 1970-е гг. в уловах преобладали представители лососевых и сиговых, в настоящее время на долю сиговых приходится менее 30 % (рис. 12). Основу рыбной части сообщества формируют короткоцикловые корюшковые и окуневые (окунь, ерш) виды, способные за непродолжительный период обитания в благоприятных кормовых условиях достигать высокой численности при увеличении размерно-весовых показателей. В результате изменяется видовой состав доминантов ихтиофауны, значительно снижается рыбохозяйственная ценность водоема. Эти процессы связаны не только с благоприятными условиями воспроизводства короткоциклового вида в многочисленных придаточных озерно-речных системах плеса Бабинская Имандра, но и с отсутствием достаточного количества хищных видов рыб. Восстановление популяций хищников — кумжи и арктического гольца в современных условиях могло бы стать эффективной мерой регулирования возросшей численности корюшки и окуневых рыб. Также это позволило бы снизить пресс возрастающего числа хищных видов (корюшка, ерш, окунь) на представителей сиговых. Указанные мероприятия способны значительно увеличить ресурсный потенциал и рыбохозяйственное значение оз. Имандра в целом. Проблема сохранения и увеличения популяций кумжи и гольца в первую очередь связана с их воспроизводством и требует проведения работ по рыборазведению и выпуску в водоем крупной жизнеспособной молоди этих видов.

Одним из важнейших факторов, определяющих особенности формирования видовой структуры рыб крупных водоемов, являются природные особенности условий обитания. В исследованном районе оз. Имандра, несмотря на локальное географическое расположение, достаточно велико многообразие мест обитания для различных представителей ихтиофауны. Южная часть Йокостровской Имандры характеризуется небольшими глубинами и обширной литоралью. В этой части акватории доминировали корюшка, окунь и ерш, а также сиги небольших размеров (рис. 13). Акватория в районе о. Хорт имеет сильно изрезанную береговую линию с участками, сложенными крупными валунами и резко обрывающимися в глубину на 25–30 м (южная оконечность острова). Такие участки благоприятны в качестве нерестилищ для гольца. Имеются обширные участки литорали. Многочисленные песчаные зоны с примесью мелкого гравия подходят для нереста сиговых рыб. Также многочисленны заводи, богатые высшей водной растительностью, в них были отмечены скопления окуня. Сходными условиями обитания характеризуется

губа Кунчаст: узкая, изрезанная береговая линия сменяется пологими литоральными зонами; на выходе из губы имеются глубокие участки (более 25 м). Ранее вся акватория губы считалась нерестилищем арктического гольца [Крючков..., 1985]. В настоящее время здесь доминируют сиг и корюшка. Удаленность и изолированность этой части оз. Имандра, по-видимому, является основным фактором сохранения популяции сига, поддерживающей естественную структуру.

Преобразования видового состава ихтиофауны в значительной степени коснулись губы Молочная ввиду специфического комплекса факторов, связанных с функционированием КАЭС и термофикацией вод, с одной стороны, и развитием аквакультуры и распространением новых для субарктического водоема видов, с другой. Благоприятный температурный режим и обилие остаточного кормового материала от форелевого хозяйства позволяют развиваться здесь радужной форели и обыкновенному карпу, обуславливают постоянный «приток» аборигенных видов в акваторию губы и обеспечивают ускорение процессов роста и полового созревания, а также привлечение наиболее крупных особей.

Видовая структура сообщества рыб подвержена сезонным изменениям в связи с многообразием условий обитания в пределах исследованного района. Так, весенне-нерестующие виды рыб образуют скопления в прибрежных мелководных участках с высшей водной растительностью, осенне-нерестующие — в литральной песчаной и прибрежной каменистой зонах. Во время нагула (в после- и преднерестовый периоды) рыбы разных видов приурочены к зонам кормовых ресурсов в условиях межвидовой конкуренции. К примеру, корюшка, ерш и окунь, независимо от размеров, встречались практически в равных соотношениях во всех исследованных зонах акватории: в прибрежной части, в толще воды, в придонных горизонтах. Одной из причин наблюдаемых явлений на фоне благоприятных кормовых условий и успешного конкурирования за пищу с другими видами может быть именно снижение пресса хищных видов рыб.

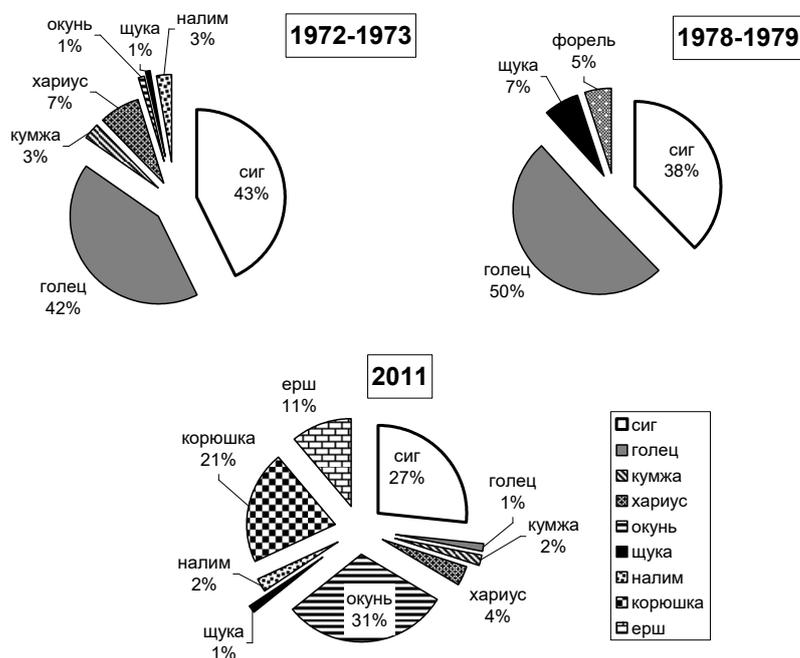


Рис. 12. Соотношение видов рыб в уловах в Бабинской Имандре в разные периоды исследований, %

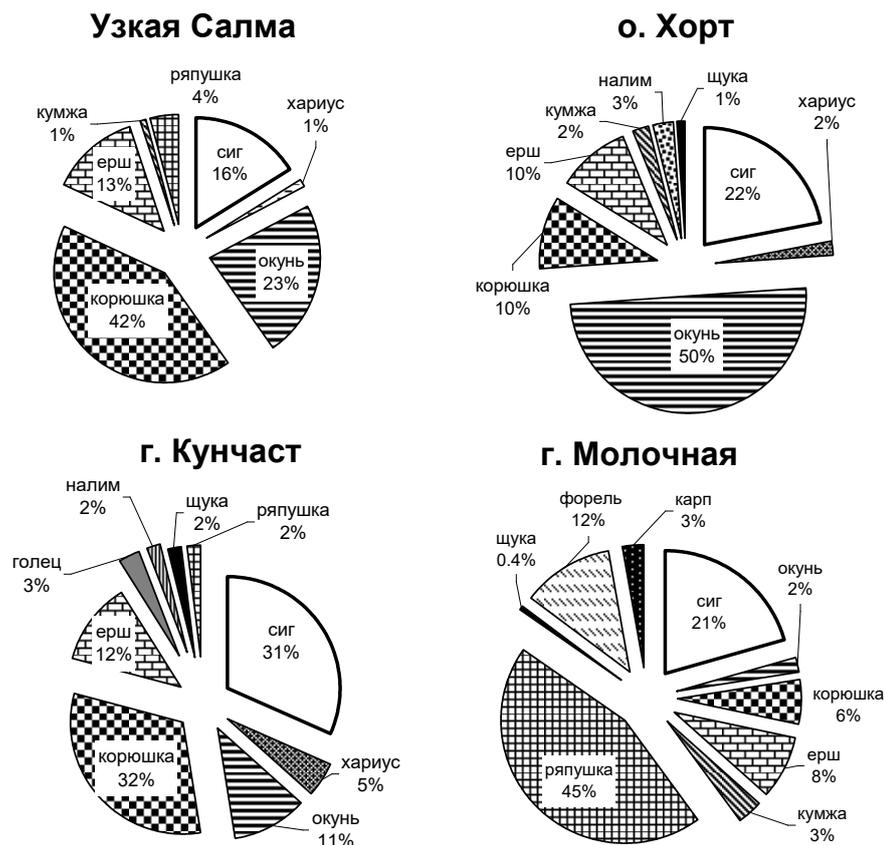


Рис. 13. Видовая структура рыб в разных районах Бабинской Имандры

### Заключение

В условиях снижения качества вод, интенсификации процессов антропогенного эвтрофирования и флуктуаций гидрологического режима в оз. Имандра происходит ускорение процессов естественной сукцессионной смены доминирующих комплексов рыб от лососево-сиговых к окунево-корюшковым и карповым. Подобные трансформации рыбного населения в той или иной степени характерны для многих крупных озерно-речных систем региона [Кашулин и др., 2012; Терентьев, Кашулин, 2012]. Доминирование окуневых, карповых и корюшковых рыб отчетливо прослеживается в последние годы для всей акватории оз. Имандра, в озерно-речных системах рек Куреньга, Кола, Пасвик, Поной. Очевидно, что в условиях техногенной нагрузки, сохраняющейся на достаточно высоком уровне, и на фоне усиления процессов антропогенного эвтрофирования без рекомендуемых охранных мероприятий развитие и функционирование рыбного населения Бабинской Имандры будет характеризоваться дальнейшим увеличением численности корюшковых и окуневых и усилением вклада этих видов в формирование структуры рыбной части сообщества.

*Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИППЭС КНЦ РАН, тема «Закономерности функционирования арктических пресноводных экосистем в условиях изменения климата и усиления антропогенного воздействия» (№ гос. рег. АААА-А19-119041890010-4) и при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-05-60125 «Арктика».*

## Литература

- Антропогенные* модификации экосистемы озера Имандра /под ред. Т. И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 403 с.
- Барская Ю. Ю., Иешко Е. П., Лебедева Д. И.* Паразиты лососевидных рыб Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 168 с.
- Берг Л. С.* Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Изд. АН СССР. 1948. Ч. I, II, III. 1381 с.
- Берг Л. С., Правдин И. Ф.* Рыбы Кольского полуострова. Л.: Изв. ВНИОРХ, 1948. Т. XXVI, вып. 2. 267 с.
- Владимирская М. И.* Рыбы озер центральной части Кольского полуострова // Отчет фондов Лапландского государственного заповедника. 1951. 130 с.
- Владимирская М. И.* Сиги бассейна оз. Имандра // Вопросы ихтиологии. 1956. Вып. 6. С. 136–148.
- Владимирская М. И.* Хариус из озер северо-западного участка бассейна озера Имандра // Зоологический журнал. 1957. Т. 36, №. 5. С. 729–736.
- Владимирская М. И.* Рыба Имандры взывает о помощи // Живая Арктика. 2002. № 1. С. 60–63.
- Воробьева Д. Г., Чижиков В. В.* Информационная записка о предварительных результатах гидрологического и гидрохимического обследования озера Имандра в районе Кольской АЭС в 1973–1974 гг. 1974. 10 с. Архив ИППЭС КНЦ РАН.
- Галкин Г. Г., Колюшев А. А., Покровский В. В.* Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск: ПИНРО, 1966 а. С. 177–193.
- Галкин Г. Г., Колюшев А. А., Покровский В. В.* Рыбохозяйственное значение основных промысловых водоемов Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск: ПИНРО. 1966 б. С. 194–208.
- Денисов Д. Б., Валькова С. А., Терентьев П. М., Сандимиров С. С., Вандыш О. И.* Современное состояние экосистемы озера Имандра в зоне влияния Кольской АЭС (Мурманская область) // Вода: химия и экология. 2017. № 6. С. 41–51.
- Известия всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. Л., 1956. Т. XLVI. 65 с.
- Исаченко В. Л.* Исследования семги и ее промысла и выяснение в реках Севера мест, пригодных для проведения мероприятий по искусственному ее разведению // Известия Ленинградского научно-исследовательского ихтиологического института. 1931. Т. 13, вып. 2. С. 31–59.
- Ихтиологические наблюдения на рыбозащитных сооружениях блочных насосных станций: отчет. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 18 с.
- Кашулин Н. А.* Теоретические основы ихтиологической биоиндикации загрязнения водоемов тяжелыми металлами: дис. ... д-ра биол. наук. Апатиты, 1999. 382 с.
- Кашулин Н. А., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А., Кудрявцева Л. П., Терентьев П. М., Денисов Д. Б., Вандыш О. И., Валькова С. А.* Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: юго-восточная часть Мурманской области (бассейн Белого моря). Апатиты: КНЦ РАН, 2012. Ч. 1. 221 с. Ч.2. 235 с.
- Королева И. М.* Влияние загрязнения на морфофизиологические показатели сигов *Coregonus lavaretus* в водоемах Кольского Севера: дис. ... канд. биол. наук. Апатиты, 2001. 186 с.

- Крепс Г. М., Крогиус Ф. В.* Краткая характеристика рыбных промыслов на оз. Имандра. Л.: Изд. упр. Мурманской ж.-д., 1924. 172 с.
- Крогиус Ф. В.* Ихтиологические работы на озере Имандра // Работы Мурманской биологической станции. 1926 а. Т. 2. С. 150–152.
- Крогиус Ф. В.* Материалы по возрасту и темпу роста сига оз. Имандра // Работы Мурманской биологической станции. Т. 2. 1926 б. С. 77–87.
- Крючков В. В., Моисеенко Т. И., Яковлев В. А.* Воздействие подогретых вод Кольской АЭС на гидрологический гидрохимический режим губы Молочная озера Имандра: заключит. отчет по хоздоговору № 2571. 1984 г.
- Крючков В. В., Моисеенко Т. И., Яковлев В. А.* Экология водоемов-охладителей в условиях Заполярья. Апатиты: КФАН СССР, 1985. 131 с.
- Лукин А. А.* Патологии рыб как индикатор качества вод Кольского Севера // Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 1995. С. 105–119.
- Лукин А. А.* Интродукция радужной форели *Parasolmo mykiss* в озеро Имандра (Кольский полуостров) // Вопросы ихтиологии. 1998. Т. 3. № 4. С. 485–491.
- Мина М. В.* Задачи и методы изучения роста в природных условиях // Современные проблемы ихтиологии. М.: Наука, 1981. С. 177–195.
- Моисеенко Т. И.* Ихтиофауна озера Имандра // Экосистема озера Имандра под влиянием техногенного загрязнения. Апатиты: КФАН СССР, 1980. С. 48–58.
- Моисеенко Т. И.* Теоретические основы нормирования антропогенных нагрузок на водоемы Субарктики. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 261 с.
- Моисеенко Т. И.* Изменение стратегии жизненного цикла рыб под воздействием хронического загрязнения вод // Экология. 2002. № 1. С. 50–60.
- Моисеенко Т. И., Яковлев В. А.* Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 220 с.
- Оценка* современного состояния экосистемы озера Имандра. Основные проблемы: промежут. отчет. Апатиты: Институт экономических проблем, 1987. 61 с.
- Оценка* ущерба рыбной части сообщества озера Имандра водозабором Кольской АЭС. Петрозаводск. 2004. 25 с.
- Петров В. В.* Промысловые рыбы Кольского полуострова // Карело-Мурманский край. Мурманск, 1935. № 8–9. С. 12–18.
- Правдин И. Ф.* Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 456 с.
- Рихтер Г. Д.* Очерки исследований оз. Имандра // Работы Мурманской биологической станции. Мурманск, 1926. Т. 2. С. 32–68.
- Рихтер Г. Д.* Обзор работы Имандровской экспедиции за 1924–1926 гг. Л.: Изд. упр. Мурманской ж.-д., 1927. 136 с.
- Рихтер Г. Д.* Физико-географический очерк озера Имандра и его бассейна // Труды ГЭНИИ при ЛГУ. 1934. 144 с.
- Рыжков Л. П., Нечаева Т. А., Евсеева Н. В.* Садковое рыбоводство — проблемы здоровья рыб. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 120 с.
- Смирнов А. Ф.* Рыбы озера Имандры // Рыбы озер Кольского полуострова. Петрозаводск, 1977. 96 с.
- Сурков С. С.* Общая характеристика особенностей видового состава ихтиофауны Мурманской области // Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск: ПИНРО, 1966. С. 147–151.

*Терентьев П. М., Кашулин Н. А.* Трансформации рыбной части сообществ водоемов Мурманской области // Труды КНЦ РАН. 2012. Вып. 2. С. 61–100.

*Характеристика* состояния запасов водных биологических ресурсов, в отношении которых устанавливается общий допустимый улов во внутренних водах Мурманской области, за исключением внутренних морских вод, в 2010 г. И прогноз общего допустимого улова (ОДУ) на 2012 г. Мурманск: ПИНРО, 2011. 15 с.

*Чижигов В. В., Воробьева Д. Г., Моисеенко Т. И., Степанов И. Р.* Окончательный отчет по теме «Комплексное изучение Йокостровской и Бабинской Имандры и разработка рекомендаций по рациональному использованию водоема» № 11-72-16 в соответствии с планом научно-исследовательских работ на 1971–1976 гг. в 2-х т. Т. 1. Текст. 1976. 276 с

*Шапошникова Г. Х.* Материалы по питанию рыб озер Имандры и Умбозера // Материалы к изучению вод Кольского полуострова. Кольск. науч.-иссл. база АН СССР, 1940. Сб. 1. С. 219–242.

*Шарова Ю. Н.* Особенности функционирования системы воспроизводства рыб Кольского Севера в условиях техногенного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2000. 26 с.

*Kitano S.* Ecological impacts of rainbow, brown and brook trout in Japanese inland waters // Global Environmental Research. 2004. Vol. 8, no. 1. P. 41–50.

#### **Сведения об авторах**

##### **Терентьев Петр Михайлович**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, pterentjev@mail.ru

##### **Зубова Елена Михайловна**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, seelewolf84@yandex.ru

##### **Кашулин Николай Александрович**

доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, nikolay@inep.ksc.ru

##### **Королева Ирина Михайловна**

кандидат биологических наук, научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, koririn@yandex.ru

##### **Terentjev Petr Mikhailovich**

PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, pterentjev@mail.ru

##### **Zubova Elena Mikhailovna**

PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, seelewolf84@yandex.ru

##### **Kashulin Nikolay Alexandrovich**

D. Sc. (Biology), Leading Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, nikolay@inep.ksc.ru

##### **Koroleva Irina Mikhailovna**

PhD (Biology), Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, koririn@yandex.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.74-82  
УДК 574.583+556.52 (470.22)

**А. Н. Круглова, С. Ф. Комулайнен**  
*Институт биологии ФИЦ КарНЦ РАН*

## **ПЛАНКТОННАЯ ФАУНА РЕК КЕМЬ, КОВДА И ИХ ПРИТОКОВ (БАСЕЙН БЕЛОГО МОРЯ, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ, РОССИЯ)**

### **Аннотация**

Представлены результаты исследований зоопланктона рек Кемь, Ковда и их притоков. В составе зоопланктона определены 72 вида: коловраток — 27, клadoцер — 31 и копепод — 14. Полученные данные указывают на гетерогенность видового состава и количественных характеристик зоопланктона в реках. Показано, что зоопланктон водотоков, отличающихся высокой озерностью и площадью водосборов, более разнообразен в видовом отношении и характеризуется наибольшими количественными показателями. Проведена оценка качества вод некоторых водотоков по индикаторным организмам зоопланктона.

### **Ключевые слова:**

*реки, зоопланктон, видовой состав, численность, биомасса.*

**A. N. Kruglova, S. F. Komulaynen**  
*Institute of Biology of the Karelian Research Centre of RAS*

## **PLANKTONIC FAUNA OF THE KEM', KOVDA RIVERS AND THEIR TRIBUTARIES (THE WHITE SEA BASIN, REPUBLIC OF KARELIA, RUSSIA)**

### **Abstract**

This paper reports the results of a study of zooplankton in the Kem and Kovda rivers and their tributaries. The planktonic fauna of the rivers includes 71 species (27 Rotatoria, 30 Cladocera, and 14 Copepoda). The goal of the study was to identify and describe any differences in the species composition and abundance of zooplankton in the rivers. It was shown that zooplankton in rivers with a substantial catchment area and a relatively high proportion of lakes had the highest species diversity of the fauna and the highest values of quantitative indexes. Water quality was assessed in some of the watercourses using zooplankton organisms as indicator species.

### **Keywords:**

*rivers, zooplankton, species composition, abundance, biomass.*

### **Введение**

Западная часть Карельского берега Белого моря — так называемая Прибеломорская низменность — представляет собой заболоченную равнину с относительными высотами до 20 м. В климатическом отношении это наименее благоприятный район Республики Карелия. Продолжительность безморозного периода составляет здесь лишь 80–90 дней [Назарова, 2014]. На водосборе расположено более 2600 водотоков [Берсонов, 1960], но только 15 из них, образующих сложные озерно-речные системы, имеют сток в Белое море. Реки Кемь и Ковда — крупнейшие озерно-речные системы бассейна Белого моря, на их долю приходится 7,8 % общего речного стока. Суммарная площадь их водосборов превышает 53800 км<sup>2</sup>, что составляет более 7,5 % территории Беломорского бассейна.

До середины XX в. экосистемы водоемов и водотоков рек оставались практически неизученными. Это объяснялось отсутствием широкомасштабной хозяйственной деятельности на водосборах и водопользованием, ограниченным только нуждами местного населения, плотность которого была невелика.

Заметный рост антропогенной нагрузки в последние десятилетия XX в. в бассейнах рек связан с созданием каскада гидроэлектростанций и разработкой Костомукшского железорудного месторождения. В настоящее время на р. Кемь расположено четыре, а на р. Ковда три ГЭС [Литвиненко, 1999]. Это привело к увеличению озерности и сокращению длины водотоков. В 2006 г. на р. Кемь было начато строительство Белопорожской ГЭС. Основные источники загрязнения р. Кемь — высокоминерализованные (свыше 500 мг/л) техногенные воды Костомукшского ГОКа и прошедшие биологическую очистку сточные воды г. Костомукша. Поступление бытовых стоков отмечено также в устьях рек в районе г. Кемь (устье р. Кемь) и поселка Зеленоборский (устье р. Ковда). Несмотря на большое хозяйственное значение, изученность экосистем этих крупных водосборных бассейнов крайне низка [Куликова, 2010; Круглова, 2016].

Исследования зоопланктона р. Кемь (среднее и нижнее течение, на протяжении более 90 км) и некоторых ее притоков были проведены сотрудниками Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН в 1980, 1981, 1983 гг. в связи с планируемым в те годы строительством Белопорожского водохранилища [Гордеева, 1985; Власова, 1982, 1989] и в 1993 г., в рамках программы мониторинга водоемов Карелии [Куликова, 1998; Куликова, Власова, 2003].

Первые сведения о видовом составе зоопланктона р. Ковда содержатся в работах С. В. Герда [1946] и Л. А. Кутиковой [1965]. По их данным, в составе зоопланктона р. Ковда отмечено 10 видов, из которых 9 — коловратки. Позднее было выполнено исследование зоопланктона р. Оланга и ее притоков [Куликова, Власова, 2003; Круглова, 2003].

В задачи настоящего исследования входило определение особенностей состава и экологии зоопланктона в разнотипных водотоках рек Кемь и Ковда и получение фоновых данных для организации экологического мониторинга состояния водных экосистем региона.

## **Материалы и методы**

Исследования структуры зоопланктона р. Кемь с притоками Муезерка, Саарийоки, Лахна, Шомба, Коккойоки и р. Ковда с притоками Карманга, Нурис, Оланга, Левгус, Мянтьюйоки, Силтайоки, Муткайоки проводили в июле–августе 2002, 2003, 2013, 2017 гг. Станции отбора проб выбирали от истока к устью, в основной струе и в прибрежной зарослевой зоне с тем расчетом, чтобы оценить закономерности формирования структуры зоопланктона на участках водотоков, различающихся по морфометрии, гидрологическому режиму и уровню антропогенной нагрузки.

Сбор и камеральную обработку материала выполняли на 26 участках по общепринятым методикам [Руководство ..., 1983; Комулайнен и др., 1989]. Структуру зоопланктона характеризовали по показателям численности, биомассы и индексу Шеннона. Оценку качества вод исследованных рек проводили по индикаторным видам с использованием метода Р. Пантле и Х. Букка [Pantle, Buck, 1955] в модификации В. Сладечека [Sladecsek, 1983]. Индексы сапробности рассчитывали для участков рек с достаточным количеством видов-индикаторов.

Одновременно с пробами зоопланктона отбирали пробы воды для определения цветности содержания общего фосфора, электропроводности и величины рН. Все определения выполнены в лаборатории гидрохимии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

## Результаты и обсуждение

Расположение водосборного бассейна на территории Фенноскандии обуславливает высокие скорости течения, большое количество порогов и каменистых перекаатов на речных участках, слабое развитие водной растительности. Для речных систем характерно расположение порогов преимущественно в верхнем течении, а плесов — в нижнем. Гидрологический режим и морфометрия исследованных рек заметно различаются, в тоже время физико-химические параметры весьма сходны (табл. 1). Высокая озерность, заболоченность, доминирование карбонатных пород, слабое антропогенное воздействие объясняют формирование маломинерализованных вод гидрокарбонатно-кальциевого типа. Цветность, в сравнении с другими реками Прибеломорской низменности, где она достигает 400–600 °, не высока. Содержание общего фосфора не превышает 12 мкг/л и близко к фоновым значениям для поверхностных вод Республики Карелия [Лозовик и др., 2006]. Температура воды в период отбора проб изменялась от +14 до +18 °С.

В планктоне рек Кемь, Ковда и их 12 притоков определен 71 вид беспозвоночных, в том числе кладоцер — 30 видов (или 42 %), коловраток — 27 (38 %), копепод — 14 видов (20 %) (табл. 2). Общими для двух речных систем оказались беспозвоночные 21 вида.

В зоопланктоне р. Кемь и ее пяти притоков (Муезерка, Саарийоки, Лахна, Шомба, Кокойоки) обнаружены 36 видов: кладоцер — 20 (55,5 %), коловраток — 11 (30,5 %), копепод — 5 (14 %) видов. Планктонная фауна р. Кемь включала 26 таксонов организмов, ее притоков — от 3 до 8, в основном ракообразных.

В зоопланктоне озерно-речной системы р. Ковда обнаружено 56 таксонов видового ранга: коловраток — 23 (41 %), кладоцер — 20 (36 %), копепод — 13 (23 %). Число видов в водотоках варьировало в более широких пределах: от 3 (р. Карманга) до 44 (р. Оланга). В самой р. Ковда было выявлено 19 видов, из которых кладоцер — 8 (42 %), копепод — 7 (37 %), коловраток — 4 (21 %). Наибольшие показатели численности и биомассы отмечены в устье реки, где преобладали более крупные ракообразные. Среди них — морской вид *Acartia bifilosa*, встречающаяся в соленых, солоноватых водах и устьях рек, и *Eurytemora lacustris*, также обитающая главным образом в солоноватых водах, что, по-видимому, объясняется их заносом во время прилива. Следует отметить, что эти виды не были обнаружены на других исследованных участках реки. Р. Оланга — крупнейший приток Топо-Пяозерского водохранилища, имеет разветвленную гидрографическую сеть. Ее притоки Нурис и Муткайоки расположены на территории Паанаярвского национального парка, в условиях минимального антропогенного воздействия. Р. Оланга представляет собой типичную озерно-речную систему (коэффициент озерности 13 %), а ее притоки Нурис, Мянтойоки, Силтайоки и Муткайоки относятся к числу водотоков с озерным регулированием. Планктонная фауна р. Оланга и ее притоков включает 44 вида коловраток и ракообразных (с преобладанием последних) и формируется главным образом за счет озерных видов. В результате выполненных исследований удалось расширить список организмов зоопланктона р. Оланги и подтвердить его формирование за счет озерных видов.

Таблица 1

## Основные гидрографические и гидрохимические характеристики рек Кемь, Ковда и их притоков

Водотоки	Координаты устья		Длина реки, км	Высота падения м/км	Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Озерность, %	Заболоченность, %	Минерализация, мг/л	Цветность, Pt°	P <sub>общ.</sub> , мкг/л	рН
	Широта, с. ш.	Долгота, в. д.										
1. Муезерка	64°01'32"	32°24'09"	48	1,2	6,3	566	5	25	18	70	3	6,6
2. Саарийоки	64°37'47"	31°31'16"	20	1,8	1,2	34	5	24	18	110	9	6,6
3. Кемь	64°57'19"	34°40'20"	357	0,6	276	27700	10	10	11	35	9	7,1
4. Лахна	64°78'03"	31°50'12"	51	1,8	3,1	1020	5	20	13	110	7	6,4
5. Шомба	65°06'13"	33°05'36"	70	1,2	8,9	1045	8	25	20	35	5	7,1
6. Кокойоки	65°17'43"	31°11'30"	13	0,8	1,5	67	–	18	25	–	–	6,9
7. Карманга	66°01'44"	30°64'63"	15	8,2	–	–	6	28	27	–	–	7,0
8. Нурис	66°16'60"	30°59'96"	33,1	2,4	1,7	151	3	8	37	70	5	7,3
9. Оланга	66°20'05"	30°60'42"	137	0,4	73,2	5670	7	23	38	30	8	6,9
10. Левгус	66°23'12"	30°41'59"	27	4,9	1,50	135	2	6	35	–	–	6,7
11. Мянтьюоки	66°26'52"	29°95'28"	12	14,3	–	49	3	10	60	19	5	7,3
12. Силтайоки	66°27'24"	30°45'41"	10	9,4	–	12	3	9	42	80	5	7,1
13. Муткайоки	66°28'46"	30°33'32"	12	11,3	–	100	3	8	34	70	5	7,3
14. Ковда	66°52'12"	32°23'56"	310	0,5	270	29700	19	12	39	23	12	6,9

Примечание. Прочерк — отсутствие данных.

Таблица 2

## Видовой состав зоопланктона рек Кемь, Ковда и их притоков

Таксоны	Водотоки*
1	2
Коловратки (Rotifera)	
<i>Anuraeopsis fissa</i> Gosse, 1851	11
<i>Ascomorpha ecaudis</i> Perty, 1850	9, 11
<i>Ascomorpha</i> sp.	2
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	3, 9, 11, 14
<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof, 1891)	3
<i>Cephalodella</i> sp.	9
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1892	9
<i>Euchlanis deflexa</i> Gosse, 1951	9
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	9, 11
<i>Euchlanis lyra</i> Hudson, 1886	4, 9
<i>Euchlanis</i> sp.	9, 11
<i>Euchlanis triquetra</i> Ehrenberg, 1838	4
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	3, 9, 11, 13, 14
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	3, 9, 14
<i>Lecane unguata</i> (Gosse, 1887)	14
<i>Notholca caudata</i> Carlin, 1943	9
<i>Notommata</i> sp.	1, 9
<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson, 1925	8, 9
<i>Polyarthra minor</i> Carlin, 1943	9
<i>Polyarthra</i> sp.	3, 9
<i>Rotatoria</i> sp.	9
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832	9, 11
<i>Synchaeta</i> sp.	3, 8, 9, 13
<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski & Zacharias, 1893)	11
<i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903)	9
<i>Trichocerca rattus</i> (Müller, 1776)	9
<i>Trichotria truncata</i> (Whitelegge, 1889)	6
Кладоцеры (Cladocera)	
<i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1834)	1–3, 6, 8, 9, 11, 12
<i>Alona affinis</i> Leydig, 1860	3, 9
<i>Alona costata</i> Sars, 1862	9–11, 14
<i>Alona guttata</i> G.O. Sars 1862	6, 11
<i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller, 1776)	9, 11
<i>Alona rectangula</i> G.O. Sars, 1862	6
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)	2
<i>Alonella exigua</i> (Lilljeborg, 1853)	2
<i>Alonella nana</i> (Baird, 1850)	3
<i>Alonopsis elongatus</i> Sars, 1862	1, 2, 4, 9, 11
<i>Bosmina</i> ( <i>Bosmina</i> ) <i>longirostris</i> (O. F. Müller, 1785)	3, 5, 7, 9, 11, 13, 14
<i>Bosmina</i> ( <i>Eubosmina</i> ) <i>coregoni</i> Baird, 1850	3, 5, 6, 9, 10, 12, 14
<i>Bosmina kessleri</i> Uljanin, 1874.	9, 13
<i>Ceriodaphnia cf. dubia</i> Richard, 1894	3
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O. F. Müller, 1785)	3
<i>Chydorus latus</i> G.O. Sars, 1862.	2

\* Номера водотоков, как и в таблице 1.

1	2
<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller, 1785)	2–6, 9, 14
<i>Daphnia (Daphnia) longispina</i> O. F. Müller, 1785	3, 7, 9
<i>Daphnia (Daphnia) cristata</i> Sars 1862	3, 8, 9, 11, 13, 14
<i>Daphnia (Daphnia) cucullata</i> Sars 1862	12
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848)	14
<i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	3
<i>Eurycercus (Eurycercus) lamellatus</i> (O. F. Müller, 1776)	14
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach, 1855	9
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	9
<i>Macrothrix hirsuticornis</i> Norman & Brady, 1867	7
<i>Ophryoxus gracilis</i> Sars, 1862	3
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)	3, 9, 14
<i>Rhynchotalona falcata</i> (Sars, 1861)	11
<i>Sida crystallina crystallina</i> (O. F. Müller, 1776)	3
Копеподы (Copepoda)	
<i>Acanthocyclops capillatus</i> (Sars, 1863)	2, 3
<i>Acanthocyclops</i> sp.	9
<i>Acartia bifilosa</i> (Giesbrecht, 1881)	14
<i>Cyclops scutifer</i> Sars, 1863	9, 14
<i>Cyclops strenuus</i> Fischer, 1851	9, 10, 11
<i>Diacyclops languidoides</i> (Lilljeborg, 1901)	9
<i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)	9, 14
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	3, 6, 9, 11, 14
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888)	9, 10
<i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe, 1887)	9, 14
<i>Macrocyclops albidus</i> (Jurine, 1820)	4, 6, 8
<i>Megacyclops gigas</i> (Claus, 1857)	13
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	3, 9, 14
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)	3, 9, 12, 14

Выявлено, что основу зоопланктонных сообществ исследованных озерно-речных систем Кеми и Ковды составляют главным образом ветвистоусые ракообразные. В состав планктофауны входят виды из различных экологических групп: озерно-пелагические (*Kellicottia longispina*, *Asplanchna priodonta*, *Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides*, *Daphnia cristata*, *Bosmina coregoni* и др.), литорально-зарослевые (*Euchlanis deflexa*, *Acroperus harpae*, *Polyphemus pediculus*, *Macrocyclops albidus* и др.) и эврибионты (*Daphnia longispina*, *Chydorus sphaericus*, *Bosmina longirostris*, *Eudiaptomus gracilis*, *Mesocyclops leuckarti* и др.). Большинство видов характеризуется высокой экологической пластичностью. Наибольшее число организмов зоопланктона принадлежит к группе зарослево-прибрежных гидробионтов. Зоопланктон озерно-речных систем включает ракообразных и коловраток, имеющих всесветное, палеарктическое, голарктическое и бореальное географическое распространение.

Структура зоопланктона исследованных водотоков достаточно разнообразна в систематическом отношении. Набор руководящих видов, на долю которых приходится более 10 % от суммарной численности и биомассы, включает в исследованных водотоках 17 и 14 видов соответственно (табл. 3). Однако 6 видов доминируют по численности только на одном, а 7 видов — на двух из 26 исследованных участков в 14 водотоках.

Таблица 3

Структура зоопланктона рек Кемь, Ковда и их притоков  
по показателям численности и биомассы

Водотоки	<i>Sp</i>	<i>H'</i>	<i>N</i> , тыс. экз/м <sup>3</sup>	<i>D<sub>N</sub></i>	<i>B</i> , мг/м <sup>3</sup>	<i>D<sub>B</sub></i>
1. Муезерка	3	1,04	40	<i>Acroperus harpae</i>	1,8	<i>Acroperus harpae</i>
2. Саарийоки	8	1,57	1940	<i>Acroperus harpae</i> <i>Chydorus latus</i> <i>Chydorus sphaericus</i>	73,1	<i>Acanthocyclops capillatus</i> <i>Acroperus harpae</i>
3. Кемь	26	2,08	1373	<i>Mesocyclops leuckarti</i> <i>Bosmina coregoni</i> <i>Bosmina longirostris</i> <i>Polyphemus pediculus</i>	121,6	<i>Acanthocyclops capillatus</i> <i>Bosmina coregoni</i> <i>Ophryoxus gracilis</i> <i>Sida crystallina</i> <i>Polyphemus pediculus</i>
4. Лахна	5	1,34	190	<i>Alonopsis elongatus</i>	8,4	<i>Alonopsis elongatus</i>
5. Шомба	3	0,88	60	<i>Bosmina coregoni</i>	6,5	<i>Bosmina coregoni</i>
6. Кокойоки	8	1,93	160	<i>Bosmina coregoni</i>	5,9	<i>Bosmina coregoni</i>
7. Карманга	3	1,10	30	<i>Daphnia longispina</i>	3,6	<i>Daphnia longispina</i>
8. Нурис	5	1,46	65	<i>Polyarthra dolichoptera</i> <i>Daphnia cristata</i>	2,9	<i>Daphnia cristata</i> <i>Acroperus harpae</i>
9. Оланга	44	3,15	2776	<i>Polyarthra dolichoptera</i> <i>Asplanchna priodonta</i>	57,3	<i>Eudiaptomus gracilis</i> <i>Bosmina coregoni</i>
10. Левгус	4	1,32	30	<i>Bosmina coregoni</i>	6,3	<i>Bosmina coregoni</i>
11. Мянтюйоки	18	2,33	930	<i>Euchlanis dilatata</i> <i>Cyclops strenuus</i>	32,3	<i>Cyclops strenuus</i>
12. Силтаййоки	4	1,33	60	<i>Bosmina coregoni</i>	4,4	<i>Bosmina coregoni</i>
13. Муткайоки	6	1,62	149	<i>Daphnia cristata</i> <i>Bosmina longirostris</i>	8,0	<i>Daphnia cristata</i> <i>Bosmina longirostris</i>
14. Ковда	19	2,58	2295	<i>Acartia bifilosa</i> <i>Bosmina coregoni</i> <i>Eudiaptomus gracilis</i> <i>Eurytemora lacustris</i> <i>Mesocyclops leuckarti</i>	118,1	<i>Acartia bifilosa</i> <i>Bosmina coregoni</i> <i>Eudiaptomus gracilis</i> <i>Eurytemora lamellatus</i>

Примечание. *Sp* — общее число видов; *H'* — индекс Шеннона; *N* — средняя численность (тыс. экз/м<sup>3</sup>); *B* — средняя биомасса (мг/м<sup>3</sup>); *D<sub>N</sub>* — виды, доминирующие по численности; *D<sub>B</sub>* — виды, доминирующие по биомассе.

Количественные показатели планктонной фауны в озерно-речных системах Кемь и Ковды не отличаются высокими величинами, как и в других водотоках Республики Карелия [Куликова, 2007]. Основу численности и биомассы зоопланктона составляют ветвистоусые ракообразные. Средние значения численности изменяются от 30 до 2776 тыс. экз/м<sup>3</sup>, биомассы — от 1,8 до 121,6 мг/м<sup>3</sup>. Максимальные количественные показатели зоопланктона отмечены в наиболее крупных водотоках — Оланга, Кемь и Ковда.

В составе планктонной фауны речных систем Ковды и Кемь выявлено соответственно 31 и 32 вида-индикатора сапробности воды, более 80 % которых относятся к олиго- и олиго-бетта-мезосапробным организмам. Индекс сапробности, рассчитанный для участка р. Кемь (Панозеро), составил 1,33, что позволяет отнести его воды к категории чистых [Sladecsek, 1983]. Индекс сапробности для верховья р. Ковда составил 1,61, указывая на слабое загрязнение этого участка.

## Заключение

Планктонная фауна исследованных водотоков озерно-речных систем Кеми и Ковды типична для Европейского Севера и представлена видами, широко распространенными в пресных водотоках.

В состав зоопланктона рек входят представители различных экологических групп: эврибионты, озерные планктонные и зарослево-прибрежные.

Таксономическое разнообразие, численность и биомасса зоопланктона обусловлены зональным положением, особенностями ландшафта, гидрографическими и гидрологическими характеристиками бассейнов рек. Количественные показатели зоопланктона исследованных рек не отличаются высокими величинами, как и в других реках Республики Карелия. Это связано с высокими скоростями течения, отсутствием плесов, холодноводностью, слабым развитием водной растительности.

В водотоках, характеризующихся значительным влиянием озер (Кемь, Ковда, Оланга), выявлен более богатый видовой состав и более высокие значения численности и биомассы зоопланктона за счет озерных видов.

В составе зоопланктона преобладают олиго- и олиго-бетта-мезосапробы, которые доминируют и по численности. Экологическое состояние обследованных рек, проведенное по составу видов-индикаторов, может быть оценено как удовлетворительное.

Кратковременный период наших наблюдений на некоторых исследованных водотоках не позволяет считать список видов достаточно полным. Дальнейшие детальные исследования помогут дополнить видовой состав и выявить сезонную динамику видовой структуры, численности и биомассы зоопланктона.

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета в рамках государственных заданий № № 0221-2014-0038 и 0221-2017-0045. Благодарим рецензентов за внимательное прочтение статьи и высказанные замечания.*

## Литература

*Берсонов С. А.* Водноэнергетический кадастр Карельской АССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 407 с.

*Власова Л. И.* Зоопланктон малых рек, притоков р. Кеми // Исследования озерно-речных систем Карелии: опер.-информ. мат.-лы. Петрозаводск, 1982. С. 26–28.

*Власова Л. И.* Зоопланктон и качество воды р. Кеми и малых водоемов зоны проектируемого Белопорожского водохранилища // Современный режим природных вод бассейна р. Кеми. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1989. С. 195–205.

*Герд С. В.* Обзор гидробиологических исследований озер Карелии // Труды Карело-Финского отделения ВНИОРХ. Л.–Петрозаводск: Госфиниздат, 1946. Т. 2. С. 27–139.

*Гордеева Л. И.* Зоопланктон рек Поморского и Карельского побережий Белого моря // Исследование некоторых элементов экосистемы Белого моря и его бассейна. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1985. С. 22–24.

*Комулайнен С. Ф., Круглова А. Н., Хренников В. В., Широков В. А.* Методические рекомендации по изучению гидробиологического режима малых рек. Петрозаводск, 1989. 41 с.

*Круглова А. Н.* Зоопланктон рек Паанаярвского национального парка // Труды Карельского НЦ РАН. Сер. Биология. Природа национального парка «Паанаярви». Петрозаводск, 2003. Вып. 3. С. 115–118.

*Круглова А. Н.* К истории изучения зоопланктона рек Карелии // Труды Карельского НЦ РАН. 2016. № 4. С. 21–36.

*Куликова Т. П.* Притоки Белого моря // Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. / под ред. Н. Н. Филатова, Т. П. Куликовой, П. А. Лозовика. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 169–170.

*Куликова Т. П.* Зоопланктон водоемов Карелии // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 58–77.

*Куликова Т. П.* Зоопланктон водных объектов бассейна Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010.

*Куликова Т. П., Власова Л. И.* Флора и фауна водных экосистем: характеристика и тенденции изменений. Зоопланктон // Разнообразие биоты Карелии: условия формирования, сообщества, виды. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. С. 189–200.

*Кутикова Л. А.* Коловратки водоемов Карелии // Фауна озер Карелии. Беспозвоночные. М.–Л.: Наука, 1965. С. 52–70.

*Литвиненко А. В.* К истории гидроэнергетического освоения водных объектов Карелии // Экологические исследования природных вод Карелии / под ред. Н. Н. Филатова, А. К. Морозова, В. И. Кухарева, Ю. А. Сало, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 21–27.

*Лозовик П. А., Шкиперова О. Ф., Зобков М. Б., Платонов А. В.* Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям // Труды Карельского НЦ РАН. 2006. № 9. С. 130–143.

*Назарова Л. Е.* Климат Республики Карелия (Россия): температура воздуха, изменчивость и изменения // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10, № 1. С. 746–749.

*Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений.* Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

*Pantle R., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1955. Bd. 96, no. 18. 604 s.

*Sladeczek V.* System of water quality from the biological point of view // Arch. f. Hydrobiol. Ergebnisse der Limnologie. 1973. Bd. 7. 218 s.

#### **Сведения об авторах**

##### **Круглова Александра Николаевна**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных Института биологии ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск, e-mail: komsf@mail.ru

##### **Комулайнен Сергей Федорович**

доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных Института биологии ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск, komsf@mail.ru

##### **Kruglova Aleksandra Nikolaevna**

PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of Fish and Water Invertebrates Ecology, Institute of Biology of the Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, komsf@mail.ru

##### **Komulaynen Sergey Fedorovich**

D. Sc. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory of Fish and Water Invertebrates Ecology, Institute of Biology of the Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, komsf@mail.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.83-93  
УДК 556.551

**А. А. Черепанов, Д. Б. Денисов, О. И. Вандыш, З. И. Слуковский, С. В. Постнова**  
*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН*

## **ИССЛЕДОВАНИЯ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА В ОЗЕРАХ ГОРОДА МУРМАНСКА**

### **Аннотация**

Дана оценка современного состояния сообществ зоопланктона шести разнотипных озер, находящихся на территории г. Мурманска. Проанализированы гидрохимические параметры, характеризующие качество вод. Видовой состав и структура зоопланктона в большинстве городских озер существенно отличаются от естественно-природных показателей в результате многофакторного антропогенного воздействия. Руководящей группой в зоопланктоне являются коловратки *Brachionus calyciflorus*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta pectinata*. На примере оз. Ледовое показаны последствия интенсивной антропогенной эвтрофикации, что подтверждается аномально высокими концентрациями хлорофилла *a* в планктоне и содержанием биогенных элементов (соединений фосфора и азота), многократно превышающим фоновые значения. Качество вод, оцененное по показателям зоопланктона, соответствует  $\alpha$ -мезосапробной категории; воды относятся к классу «умеренно-загрязненных».

### **Ключевые слова:**

*городские озера, зоопланктон, содержание хлорофилла *a*, качество вод.*

**A. A. Cherepanov, D. B. Denisov, O. I. Vandysh, Z. I. Slukovskii, S. V. Postnova**  
*Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS*

## **RESEARCH OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN THE LAKES OF MURMANSK CITY**

### **Abstract**

The current state of the zooplankton communities in six polytypic lakes within the city line of Murmansk, Russia, was studied. The species composition and structure of the zooplankton communities in the majority of the studied lakes were significantly different compared to those in an unmodified environment due to the anthropogenic pressure from the urban infrastructure. The rotifer taxa *Brachionus calyciflorus*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta pectinata* represent the dominant group in the zooplankton. Ledovoye Lake was chosen to illustrate the consequences of intense man-caused eutrophication, as evidenced by the abnormally high concentrations of chlorophyll *a* in the plankton and by the level of nutrients (phosphorus and nitrogen compounds) many times higher than the background values. Based on zooplankton indices, the water quality was classified in the  $\alpha$ -mesosaprobic category and water quality class 3 (moderately polluted).

### **Keywords:**

*urban lakes, zooplankton, chlorophyll *a*, water quality.*

### **Введение**

Исследование водных объектов, расположенных в рекреационных зонах, — одна из основных задач специалистов-экологов и геоэкологов. К числу таких объектов относятся городские озера, водосбор которых частично или полностью занимает урбанизированная территория. В городах одновременно сосредоточены разнотипные потенциальные источники загрязнения окружающей среды (промышленность, транспорт, свалки бытовых отходов, бытовые стоки), под воздействием которых в водоемах могут значительно трансформироваться химический состав воды, геохимические характеристики донных отложений, качественные и количественные показатели планктона, бентоса и растений-макрофитов [Куликова, 2015]. Исследование городских озер представляет особую актуальность в связи с их высокой рекреационной значимостью. Мурманск расположен на скалистом восточном побережье Кольского залива Баренцева моря и является одним из крупнейших портов России. На территории города насчитывается около 20 озер, испытывающих многофакторную антропогенную нагрузку различной интенсивности. Большинство водоемов активно используются

в рекреационных целях. Информация об экологических особенностях и качестве вод этих озер недостаточна или является отрывочной, зоопланктон не изучен [Слуковский и др., 2018].

Современные сообщества планктона представляют собой результат воздействия комплекса факторов как многолетних изменений абиотической среды, так и соотношений между организмами внутри сообществ. Зоопланктон, являясь большой и сложной частью экосистемы озера, тесно связан со всеми звеньями биоты (фито- и бактериопланктоном, бентосом, ихтиофауной) и отражает общее состояние водоема. В соответствии с этим зоопланктонное сообщество рассматривается как организованная биологическая система с определенной взаимосвязью и упорядоченностью ее структурных и функциональных показателей. Изменение условий существования организмов отражается на видовом составе, количественных характеристиках, соотношении таксономических групп и других показателях структурной организации зоопланктона, что делает его объективным биоиндикатором качества воды как среды обитания.

Цель работы — исследование видового состава и структуры зоопланктонных сообществ в озерах, находящихся на территории г. Мурманска, и оценка современного состояния экосистем озер и качества вод на основе показателей зоопланктона.

### **Материалы и методы**

Объектами исследования были зоопланктонные сообщества шести разнотипных озер, расположенных на территории г. Мурманска: Северное, Семеновское, Среднее, Окуновое, Ледовое, Южное (рис. 1).

Два водоема не имеют официального названия и были обозначены в соответствии со своим географическим положением «Северное» и «Южное». По данным ФГБУ «Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (МУГИМОС) все исследованные озера используются как рекреационные зоны для населения.

Самые крупные озера — Среднее и Семеновское — расположены в центральной части города. Площадь остальных озер значительно меньше (табл. 1). С помощью эхолота выявляли максимальные значения глубины. Самым глубоким оказалось оз. Среднее (24,5 м), максимальная глубина остальных водоемов была меньше в два и более раз (табл. 1).

Для общей оценки состояния водной среды озер г. Мурманска был выполнен анализ стандартного набора гидрохимических показателей согласно международным методическим рекомендациям [Лурье, 1984; Руководство..., 1977; Standart..., 1995].

Для исследования таксономического состава и количественных показателей зоопланктона пробоотбор проводили в период его максимальной активности — в июле 2018 г. По данным МУГИМОС, этот период отличался аномально высокими для региона температурами воздуха (до +23,4 °С), что, вероятно, могло повлиять на результаты исследований.

Количественные пробы отбирали в центральной части исследованных озер батометром объемом 2 л от поверхности до дна с шагом 1 м и выделением следующих слоев: поверхность — 2 м; 2–5 м, 5–10 м, 10-дно (если позволяла глубина водоема). Для отбора качественных проб использовали сеть Апштейна. Биологический материал фиксировали в растворе Люголя. В расчетах использовали средние для каждого водоема значения количественных показателей зоопланктона.

Обработку проб, определение видов и необходимые расчеты проводили по общепринятым методикам гидробиологического мониторинга [Руководство..., 1992; Определитель..., 2010]. Индивидуальную массу организмов рассчитывали на основе уравнения зависимости между длиной и массой тела планктонных

коловраток и ракообразных [Ruttner-Kolisko, 1977; Балушкина, Винберг, 1979]. Индекс сапробности  $S = Ish / Xh$  по Пантле и Букк в модификации Сладечека [Pantle, Buck, 1955; Sladecsek, 1973] вычисляли, исходя из индивидуальных характеристик сапробности видов, согласно общепринятым методикам [Макрушин, 1974]. Оценку качества воды по показателям зоопланктона проводили в соответствии с «Правилами контроля качества воды водоемов и водотоков» (Межгосударственный стандарт ГОСТ 17.1.3.07-82).



Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб в озерах г. Мурманска

Таблица 1

Характеристика исследованных озер г. Мурманска

Озеро	Площадь, км <sup>2</sup>	Максимальная глубина, м	Прозрачность воды, м
Б/н (Северное)	0,009	4	3
Ледовое	0,040	12	1
Окуновое	0,048	6	2,5
Семеновское	0,213	11	2
Среднее	0,248	24,5	5
Б/н (Южное)	0,053	11	5

Для характеристики трофического статуса вод анализировали содержание хлорофилла *a* (Хл *a*) в планктоне. Концентрацию Хл *a* определяли путем фильтрации проб воды объемом 600 мл через мембранный фильтр с диаметром пор 0,47 мкм с помощью шприца Millipore с фильтровальной насадкой. Фильтрацию проводили непосредственно на водоеме, чтобы избежать изменений содержания фотосинтетических пигментов в ходе транспортировки проб воды. Экстракцию хлорофиллов выполняли раствором ацетона (90 %, ЧДА), оптическую плотность экстрактов измеряли на спектрофотометре Hitachi UV-VIS 181. Концентрацию пигментов рассчитывали общепринятыми в мировой и отечественной практике методами, по схеме, отработанной в ИППЭС КНЦ РАН [Determination, 1996; Минеева, 2004; Денисов, Кашулин, 2013]. Трофический статус вод оценивали по шкале С. П. Китаева [2007].

В качестве условно-фонового водоема было выбрано оз. Колозеро, расположенное в 80 км к югу от Мурманска на водосборе Баренцева моря [Аннотированный..., 2013].

## Результаты и обсуждение

### Гидрохимические показатели

Изученные озера г. Мурманска характеризуются значительной вариативностью гидрохимических показателей (табл. 2), при этом в водоемах фоновых районов Мурманской области значения рН воды ниже (~6,80) [Аннотированный..., 2012]. Наибольшие величины рН зарегистрированы в озерах Ледовое, Семеновское и Южное, эти данные коррелируют с показателем щелочности воды. Оз. Ледовое, расположенное в центральной части города, в условиях оживленного транспортного движения и деятельности ряда предприятий, отличается низкой прозрачностью и высокой электропроводностью воды, значительным содержанием ионов аммония, сульфатов, хлора, общего азота, фосфора и кремния. Самой прозрачной водой характеризуются озера Среднее и Южное. Для оз. Окуневого, расположенного в центре города среди плотного лесопаркового массива, были характерны наиболее высокие значения цветности, содержания общего органического углерода и химического потребления кислорода по сравнению с другими изученными водоемами. Большинство показателей находится ниже установленных норм (ПДК), за исключением содержания ионов аммония в воде оз. Ледового и значений рН в озерах Ледовое и Семеновское.

Сравнение гидрохимических показателей исследованных озер г. Мурманска и фоновых озер Мурманской области свидетельствует о значительном влиянии антропогенного фактора на городские водоемы (табл. 2). В сравнении с условно-фоновым оз. Колозеро значения электропроводности в озерах Ледовое, Среднее и Южное были выше в 4,0–8,9 раз, щелочности — в 1,7–3,6 раз, содержание хлора в воде всех озер — в 3–75 раз. Наиболее загрязненным следует считать оз. Ледовое, расположенное в центре г. Мурманска.

Таблица 2

Гидрохимическая характеристика воды озер г. Мурманска

Показатель	Оз. б/н (Северное)	Оз. Ледовое	Оз. Окуневое	Оз. Семеновское	Оз. Среднее	Оз. б/н (Южное)
рН	7,3	9,7	7,19	8,69	8,06	8,34
Прозрачность, м	3	1	2,5	2	5	5
Cond20, мкСм/см	97	787	87	104	199	211
Cond25, мкСм/см	10,6	86,6	9,5	11,4	21,9	23,2
NH <sub>4</sub> , мкгN/л	29	822	70	204	58	50
Alk, мкг-экв/л	95	1478	320	335	692	712
SO <sub>4</sub> , мг/л	4,1	45,6	14,3	9,4	31,0	11,0
SO <sub>4</sub> <sup>*</sup> , мг/л	0,7	16,1	13,2	7,1	27,6	5,5
NO <sub>3</sub> , мкгN/л	1	1	1	0	1	27
Cl, мг/л	24,4	21,1	8,1	16,6	24,6	39,1
TN, мкгN/л	225	1600	437	589	401	288
PO <sub>4</sub> , мкгP/л	1	35	2	1	0	0
ТРф, мкг/л	3	45	4	6	3	3
ТРн/ф, мкг/л	10	90	12	23	9	10
Цветность, °	6	14	45	10	7	6
COD Mn, мг/л	1,7	5,5	8,1	4,0	3,3	3,2
ТОС, мгС/л	2,9	5,8	7,7	4,6	4,1	4,0
Si, мг/л	0,34	1,1	0,66	0,10	0,04	0,15

*Примечание.* Cond20 и Cond25 — электропроводность при температурах +20 °С и +25 °С соответственно; Alk — щелочность; TN — общий органический азот; ТРф, ТРн/ф — общий фосфор в фильтрованной и нефилтрованной пробе; COD — перманганатная окисляемость; ТОС — общий органический углерод.

Содержание Хл *a*. Период отбора проб совпал с аномально высокими температурами воздуха и воды, что явилось мощным дополнительным фактором, стимулирующим развитие фитопланктона. Все изученные озера характеризовались значительной вариабельностью содержания Хл *a*, это позволило оценить уровень развития фитопланктона и трофический статус вод (табл. 3). Наибольшие концентрации пигмента были зафиксированы на литорали оз. Ледовое, где наблюдалось интенсивное развитие нитчатой зеленой водоросли *Ulothrix zonata* — показателя эвтрофикации вод. Аномально высокое по сравнению с фоновым содержание общего и аммиачного азота и фосфатов в озере (табл. 2) стимулирует обильное развитие фитопланктона и, как следствие, β-эвтрофный статус озера. В остальных водоемах содержание Хл *a* оказалось на порядок меньше. В оз. Семеновское концентрация Хл *a* соответствует β-мезотрофному статусу, что также не типично для арктических водоемов. В этом озере активному развитию фитопланктона способствовало повышенное содержание общего и аммиачного азота. Остальные водоемы на период исследований соответствовали олиготрофному статусу, концентрация Хл *a* в них была близка к фоновой (табл. 3).

Таблица 3

Содержание хлорофилла *a* и трофический статус исследованных озер

Озеро	Дата отбора	Хл <i>a</i> , мг/м <sup>3</sup>	Трофический статус
Северное	24.07.2018	2,24	β-олиготрофный
Ледовое	23.07.2018	45,29	β-эвтрофный
Окуневое	25.07.2018	1,30	α-олиготрофный
Семеновское	24.07.2018	7,07	β-мезотрофный
Среднее	25.07.2018	0,71	α-олиготрофный
Южное	25.07.2018	1,08	α-олиготрофный

#### Показатели зоопланктонных сообществ

Таксономическая структура. В исследованных озерах обнаружено 34 вида беспозвоночных животных, в том числе: коловраток — 16, ветвистоусых рачков — 10, веслоногих ракообразных — 8 видов. Общее число видов варьировало в озерах от 6 до 17 (табл. 4).

Преобладали коловратки *Brachionus calyciflorus*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta pectinata*, *Bosmina obtusirostris*, рачки *Daphnia cristata*, *D. longispina*, *D. longiremis*, *Holopedium gibberum*, *Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops oithonoides*. Веслоногие рачки *Eudiaptomus gracilis* и *E. graciloides*, относящиеся к «грубым» фильтраторам, были отмечены в незначительных количествах.

Оз. Северное — наиболее бедное в видовом отношении. Здесь выявлено всего 6 таксонов видового ранга. Основу таксономической структуры зоопланктона в период отбора проб формировала «мирная» коловратка *Polyarthra vulgaris* (84,4 % общей численности организмов).

В оз. Семеновское было обнаружено наибольшее число видов зоопланктона — 17, из которых Rotatoria — 10, Cladocera — 6, Copepoda — 1. Доминирующий комплекс был представлен преимущественно коловратками *Filinia terminalis*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*.

В оз. Среднее выявлено 14 таксонов видового ранга: Rotatoria — 8, Cladocera — 3, Copepoda — 3. Доминировали коловратка *Keratella cochlearis* и ветвистоусый рачок *Bosmina obtusirostris*.

В зоопланктоне оз. Окуневое зарегистрировано 16 видов: Rotatoria — 5, Cladocera — 6, Соперода — 5. Превалировали коловратки *Brachionus calyciflorus*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis* и «тонкий» фильтратор — ветвистоусый рачок *Bosmina obtusirostris*.

В зоопланктонном сообществе оз. Ледовое также доминировала коловратка *Brachionus calyciflorus*. Всего было обнаружено 10 таксонов видового ранга: Rotatoria — 5, Cladocera — 1, Соперода — 4.

В оз. Южное выявлено 12 видов организмов: Rotatoria — 7, Cladocera — 2, Соперода — 3. Преобладали *Keratella cochlearis* и *Bosmina obtusirostris*.

Индекс видового разнообразия Шеннона варьировал в пределах 0,9–2,9 бит/экз. и был наиболее высоким для озер Семеновское и Окуневое с наибольшим числом выявленных видов зоопланктона и минимальным — для оз. Южное.

Наиболее чувствительные к загрязнению «грубые» фильтраторы — веслоногие рачки-каланоиды были обнаружены в пяти из шести озер: *Eudiaptomus gracilis* — в Северном и Южном, *Eudiaptomus graciloides* — в Окуневом, Ледовом и Южном. В оз. Среднее каланоиды присутствовали в личиночной (науплиальной) стадии. Данные виды копепод могут изымать из толщи воды крупные органические взвеси, увеличивая тем самым биофильтрационную очистительную способность исследованных водоемов.

*Количественные показатели.* Минимальные значения численности и биомассы зоопланктона зарегистрированы в озерах Северное (91,6 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 0,4 г/м<sup>3</sup>) и Южное (357,3 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 0,8 г/м<sup>3</sup> соответственно), что характерно для неглубоких малых олиготрофных водоемов региона.

Наиболее высокие количественные характеристики зоопланктона были отмечены в озерах Семеновское — 2231,2 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 5,9 г/м<sup>3</sup>, и Ледовое — 1052,6 тыс. экз/м<sup>3</sup> и 3,4 г/м<sup>3</sup> (табл. 5). В обоих водоемах по численности преобладали коловратки: 92,5 и 89,4 % соответственно. По биомассе доминировали ракообразные: в оз. Семеновское — ветвистоусые (82 %), в оз. Ледовое — веслоногие (84 %). Высокая биомасса зоопланктона в оз. Семеновское была обусловлена присутствием крупных хищных рачков *Leptodora kindtii*.

Соотношение основных таксономических групп зоопланктона — Rotatoria/Cladocera/Соперода по численности во всех исследованных водоемах отражает преобладание коловраток, по биомассе — кладоцер (озера Окуневое, Семеновское) и копепод (озера Северное, Ледовое, Южное). В оз. Среднее доля кладоцер и копепод в общей биомассе была сходной — 37 % (табл. 5).

Соотношение биомассы ракообразных и коловраток ( $B_{Crust}/B_{Rot}$ ), превышающее единицу, свидетельствуя о преобладании во всех озерах ракообразных над коловратками. Соотношение численности  $N_{Clad}/N_{Cop}$  характеризует превалирование кладоцер над копеподами в озерах Окуневое, Семеновское и Среднее и копепод над кладоцерами в озерах Северное, Ледовое, Южное.

Индекс средней индивидуальной массы организмов-зоопланктеров в сообществе ( $w = B / N$ ) варьировал в пределах 0,001–0,005 мг, отражая превалирование мелкоразмерных коловраток, за исключением оз. Окуневое (0,1 мг), где доля кладоцер и копепод в общей численности была выше (табл. 5).

По индексу сапробности исследованные водоемы характеризуются как  $\alpha$ -мезосапробные, умеренно-загрязненные и принадлежат к III классу качества вод. По шкале трофности С. П. Китаева [1984] наиболее высокий трофический статус ( $\alpha$ -эвтрофный) имеет оз. Семеновское, самый низкий  $\alpha$ -олиготрофный — оз. Северное.

Таксономическая структура зоопланктонных сообществ исследованных озер (июль 2018 г.)

Таксон	Водоёмы					
	оз. б/н (Северное)	оз. Ледовое	оз. Окуновое	оз. Семеновское	оз. Среднее	оз. б/н (Южное)
1	2	3	4	5	6	7
Коловратки (Rotatoria)						
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	–	+	+	+	+	–
<i>Bipalpus hudsoni</i> Imhof, 1891	–	–	–	–	+	–
<i>Brachionus calyciflorus</i> Pallas, 1766	–	–	+	–	+	+
<i>Brachionus</i> sp.	–	–	–	+	–	+
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	–	–	–	–	+	–
<i>Filinia terminalis</i> Plate, 1886	–	–	–	+	–	–
<i>F. longiseta</i> Ehrenberg, 1834	–	+	–	–	–	–
<i>Kellicottia longispina</i> Kellicott, 1879	–	–	+	+	+	+
<i>Keratella cochlearis</i> Gosse, 1851	–	+	+	+	+	+
<i>K. quadrata</i> Müller, 1786	–	–	–	+	–	+
<i>Lecane</i> sp.	+	–	–	–	–	–
<i>Notholca caudata</i> Carlin, 1943	–	+	–	–	–	–
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943	+	+	+	+	+	+
<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832	+	–	–	+	+	+
<i>Synchaeta</i> sp.	–	–	–	+	–	–
<i>Trichocerca</i> sp.	–	–	–	+	–	–
Всего таксонов	3	5	5	10	8	7
Ракообразные (Crustacea)						
Надотряд Ветвистоусые (Cladocera)						
<i>Alona</i> sp.	–	–	–	+	+	–
<i>Bosmina obtusirostris</i> Sars, 1862	–	+	+	+	+	+
<i>Ceriodaphnia affinis</i> Lilljeborg, 1901	–	–	+	–	–	–
<i>Chydorus ovalis</i> Kurz, 1875	–	–	–	+	–	–
<i>Daphnia cristata</i> G.O. Sars, 1862	–	–	+	+	+	–
<i>D. longiremis</i> G.O. Sars, 1861	–	–	–	+	–	+
<i>D. longispina</i> O.F. Müller, 1776	+	–	+	–	–	–
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach, 1855	–	–	+	–	–	–
<i>Leptodora kindtii</i> Focke, 1844	–	–	–	+	–	–
<i>Sida crystalline</i> O.F. Muller, 1776	–	–	+	–	–	–
Всего таксонов	1	1	6	6	3	2

1	2	3	4	5	6	7
Надотряд Веслоногие (Copepoda)						
<i>Cyclops cutifer</i> Sars, 1863	–	–	+	–	–	–
<i>Cyclops</i> sp.	+	+	+	+	+	+
<i>Eudiaptomus gracilis</i> Sars, 1863	+	–	–	–	–	+
<i>E. graciloides</i> Lilljeborg, 1888	–	+	+	–	–	–
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars, 1863	–	–	+	–	–	–
<i>Mesocyclops leuckarti</i> Claus, 1857	–	+	–	–	–	+
<i>Thermocyclops oithonoides</i> Sars, 1863	–	+	+	–	+	–
<i>Mesocyclop</i> ssp.	–	–	–	–	+	–
Всего таксонов	2	4	5	1	3	3
Итого	6	10	16	17	14	12

Примечание. Озера: I — Северное; II — Семеновское; III — Среднее; IV — Окуновое; V — Ледовое; VI — Южное; «+» — присутствие вида; «–» — отсутствие.

Таблица 5

## Структурные и функциональные показатели зоопланктонных сообществ исследованных озер (июль 2018 г.)

Показатели	Оз. б/н (Северное)	Ледовое	Окуновое	Семеновское	Среднее	Оз. б/н (Южное)
$N$ , тыс. экз/м <sup>3</sup>	91,6	1052,6	225,9	2231,2	365,2	357,3
$B$ , г/м <sup>3</sup>	0,4	3,4	3,0	5,9	1,4	0,8
$N_{Rot} : N_{Clad} : N_{Cop}$ , %	91,8:0,7:7,4	89,4:0,1:10,5	64,4:18:17,6	92,5:7,2:0,3	91,1:5,3:3,6	94,1:2,6:3,3
$B_{Rot} : B_{Clad} : B_{Cop}$ , %	11,2:17,2:71,8	14,9:0,9:84,1	3,9:53,7:42,4	14,2:82,0:3,8	25,7:37,0:37,3	9,8:30,6:59,6
$B_{Crust} / B_{Rot}$	7,9	5,7	23,7	6,0	2,9	9,2
$N_{Clad} / N_{Cop}$	0,1	0,009	1,0	25,4	1,4	0,02
$B_3 / B_2$	1,0	4,5	0,2	0,07	0,03	0,001
Индекс Шеннона, бит/экз.	1,0	1,3	2,9	2,0	1,4	0,9
$w = B / N$ , мг	0,005	0,003	0,01	0,002	0,003	0,001
Сапробность	1,5 (III)	1,7 (III)	1,8 (III)	2 (III)	1,9 (III)	1,8 (III)
Трофический статус	α-олиготрофный	β-мезотрофный	β-мезотрофный	α-эвтрофный	α-мезотрофный	β-олиготрофный
Доминирующие виды	<i>Polyarthra vulgaris</i>	<i>Polyarthra vulgaris</i> , <i>Thermocyclops oithonoides</i> , <i>Brachionus calyciflorus</i>	<i>Brachionus calyciflorus</i> , <i>Kellicottia longispina</i> , <i>Keratella cochlearis</i> , <i>Bosmina obtusirostris</i>	<i>Filinia terminalis</i> , <i>Keratella cochlearis</i> , <i>Polyarthra vulgaris</i>	<i>Keratella cochlearis</i> , <i>Bosmina obtusirostris</i>	<i>Keratella cochlearis</i> , <i>Bosmina obtusirostris</i>

Примечание.  $N_{Rot}$ ,  $N_{Clad}$ ,  $N_{Cop}$  — численность коловраток, клadoцер, копепоид;  $B_{Rot}$ ,  $B_{Clad}$ ,  $B_{Cop}$ ,  $B_{Crust}$  — биомасса коловраток, клadoцер, копепоид, ракообразных;  $B_2$  — «мирного» зоопланктона;  $B_3$  — биомасса хищного зоопланктона;  $w = B / N$  мг — индекс средней индивидуальной массы организма-зоопланктона в сообществе.

## Заключение

Анализ качественных и количественных показателей зоопланктонных сообществ шести озер (Северное, Семеновское, Среднее, Окуновое, Ледовое, Южное), расположенных на территории г. Мурманска, выявил их существенное отличие от условно-фоновых водоемов Мурманской области, что является результатом комплексного антропогенного воздействия городской инфраструктуры. В сравнении с озерами условно-фоновых территорий в городских водоемах выявлена значительная вариативность гидрохимических показателей как условий обитания для беспозвоночных-гидробионтов, что свидетельствует о негативном влиянии городской среды на данные водоемы. Наибольшие превышения фоновых значений отмечены для рН, электропроводности, биогенных элементов, щелочности воды и содержания в ней хлора.

Среди 34 видов организмов, выявленных в период исследований (июль 2018 г.), преобладали коловратки — эврибионтные виды с широкой экологической валентностью, простыми жизненными циклами и высокой скоростью размножения, то есть с экологической стратегией *r*-типа. Руководящий комплекс организмов формировали типичные для северных озер виды — *Brachionus calyciflorus*, *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*, *Synchaeta pectinata*.

Количественные показатели зоопланктона проявляют определенную специфику в зависимости от экологического состояния водоемов и уровня антропогенной нагрузки. Величины общей численности и биомассы варьировали в широких пределах и были максимальными в озерах с преобладанием коловраток (Семеновское, Окуновое и Ледовое), которые благодаря смешанному питанию менее чувствительны к воздействию загрязняющих веществ.

Следует отметить наибольшую трансформацию структуры зоопланктона в оз. Ледовое, расположенном в центре Мурманска в результате загрязнения и интенсивной антропогенной эвтрофикации. Здесь отмечена тенденция замены «тонких» фильтраторов-кладоцер хищными веслоногими рачками — циклопаи при общем преобладании коловраток. Чувствительные к загрязнению активные «грубые» фильтраторы — каланоиды, изымающие из толщи воды крупные частицы взвешенных органических веществ, были отмечены единично, что отражает снижение самоочистительной способности данного водоема. Это также подтверждается аномально высокими концентрациями хлорофилла *a* в планктоне и соответствует содержанию в воде биогенных соединений азота и фосфора, многократно превышающему фоновые показатели.

Наиболее высокие значения индекса видового разнообразия Шеннона, зарегистрированные в озерах Семеновское и Окуновое, отражают повышение степени доминирования отдельных видов коловраток, устойчивых к воздействию токсикантов и являющихся типичными индикаторами загрязнения.

В целом воды исследованных озер г. Мурманска можно отнести к «умеренно-загрязненным», имеющим средний класс сапробности. Для раскрытия закономерностей и понимания механизмов функционирования зоопланктоценозов городских водоемов требуется проведение дальнейших систематических гидробиологических и гидрохимических наблюдений.

*Статья подготовлена в рамках выполнения проекта РНФ № 19–77–10007 «Экологическая оценка и прогноз устойчивого функционирования водных экосистем урбанизированных территорий в Арктической зоне».*

## Литература

*Аннотированный* экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейн Баренцева моря, Белого моря и Ботнического залива Балтийского моря); в 2 ч. Апатиты: КНЦ РАН, 2013. Ч. 1. 298 с.

*Аннотированный* экологический каталог озер Мурманской области: юго-восточная часть (бассейн Белого моря); в 2 ч. Апатиты: КНЦ РАН. 2012. Ч. 2. 235 с.

*Балушкина Е. В., Винберг Г. Г.* Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: ЗИН АН СССР, 1979. С. 58–72.

*Денисов Д. Б., Каиулин Н. А.* Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) // Труды КНЦ РАН. Прикладная экология Севера. 2013. № 3 (16). С. 70–96.

*Китаев С. П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ, 2007. 394 с.

*Китаев С. П.* Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.

*Куликова Т. П.* Зоопланктон водных объектов города Петрозаводска (Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 2. С. 71–88.

*Лурье Ю. Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 446 с.

*Макрушин А. В.* Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 60 с.

*Минеева Н. М.* Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.

*Определитель* зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.–СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

*Руководство* по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат Санкт-Петербург, 1992. 318 с.

*Руководство* по методам химического анализа морских вод / под ред. С. Д. Орадовского. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 208 с.

*Слуковский З. И., Денисов Д. Б., Черепанов А. А.* Первые результаты обследования озер, расположенных в черте г. Мурманска (июль 2018 г.) // Актуальные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии. Материалы XXIX молодежной научной школы-конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К. О. Кратца и ак. РАН Ф. П. Митрофанова (Петрозаводск, 1–5 октября 2018 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. С. 288–291.

*Determination of photosynthetic pigments in sea water: monography / Rep. of SCOP-UNESCO Working Group 17.* Paris, UNESCO, 1966. P. 9–18.

*Pantle R., Buck H.* Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. GasundWasserfach. 1955. 604 s.

*Ruttner-Kolisko A.* Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers // Arch. Hydrobiol. Ergebn.Limnol. 1977. Bd. 8. P. 71–78.

*Sladeczek V.* System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. / Ergebn. Limnol. 1973. No. 7. 218 p.

*Standart methods for examination for water and wastewater.* USA, 1975. 195 p.

### *Сведения об авторах*

#### **Черепанов Александр Александрович**

ведущий инженер лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, a.cherepanov@ksc.ru

#### **Денисов Дмитрий Борисович**

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, d.denisow@ksc.ru

#### **Вандыш Оксана Ивановна**

кандидат биологических наук, ученый секретарь Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, o.vandysh@ksc.ru

#### **Слуковский Захар Иванович**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, slukovsky87@gmail.com

#### **Постнова Светлана Викторовна**

ведущий инженер лаборатории водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, a.cherepanov@ksc.ru

#### **Cherepanov Alexandr Alexandrovich**

Leading Engineer of the Laboratory of the Aquatic Ecosystems of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, a.cherepanov@ksc.ru

#### **Denisov Dmitry Borisovich**

PhD (Biology), Head of the Laboratory of the Aquatic Ecosystems of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, d.denisow@ksc.ru

#### **Vandysh Oksana Ivanovna**

PhD (Biology), Scientific Secretary of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, o.vandysh@ksc.ru

#### **Slukovskii Zakhar Ivanovich**

PhD (Biology), Senior Researcher of the Laboratory of the Aquatic Ecosystems of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, slukovsky87@gmail.com

#### **Postnova Svetlana Viktorovna**

Leading Engineer of the Laboratory of the Aquatic Ecosystems of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, a.cherepanov@ksc.ru

**Д. Б. Денисов**

*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН*

## **ФИТОПЛАНКТОН ВОДОЕМОВ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

### **Аннотация**

Анализируются особенности развития пресноводного фитопланктона в условиях экстремального загрязнения в зоне воздействия крупнейших в Мурманской области предприятий черной и цветной металлургии. Мощное загрязнение вызвало кардинальную трансформацию структуры сообществ фитопланктона. Обосновано положительное влияние антропогенного эвтрофирования на снижении токсических эффектов. Многолетняя (1992–2018) динамика биомассы фитопланктона и содержания хлорофилла *a* в эвтрофируемых участках оз. Имандра позволила определить статус водоема как устойчивый мезотрофный. Показана стимулирующая роль соединений азота при массовом развитии динофитовой водоросли *Ceratium hirundinella* в малых озерах в зоне воздействия предприятий по добыче и переработке железных руд.

### **Ключевые слова:**

*фитопланктон, озера Мурманской области, тяжелые металлы, эвтрофирование.*

**D. B. Denisov**

*Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS*

## **PHYTOPLANKTON OF THE LAKES OF THE MURMANSK REGION IN THE ZONES OF INFLUENCE OF THE METALLURGICAL INDUSTRY**

### **Abstract**

The condition of freshwater phytoplankton in areas exposed to pollution from some of the largest smelters in the Murmansk Region, Russia, was examined. High pollution level resulted in a radical transformation of the phytoplankton community structure. Patterns of algae growth under extreme pollution are described and the role of anthropogenic eutrophication in reducing the toxic effects is shown. Long-term (1992–2018) observations of phytoplankton biomass and chlorophyll *a* content in the eutrophied areas of the Imandra Lake support the lake's status as stable mesotrophic. The contribution of nitrogen compounds to the growth of *Ceratium hirundinella* in small lakes in the area exposed to pollution from iron ore mining and processing industry is shown.

### **Keywords:**

*phytoplankton, lakes of the Murmansk Region, heavy metals, eutrophication.*

### **Введение**

Состояние водорослевых сообществ (альгоценозов) является важнейшим показателем экологической обстановки и качества среды в целом и представляет собой информативный маркер стабильности экосистем. Водорослевые сообщества находятся в самом начале цепей питания, определяя структурно-функциональную организацию всей экосистемы. Водоросли тесно связаны с гидрохимическими, температурными, гидродинамическими и климатическими факторами, их видовой состав четко отражает условия окружающей среды. Они способны сами влиять на химический состав вод, особенно при массовом развитии. Доминирующие в составе альгоценозов виды зачастую определяют ход круговоротов вещества и энергии в водной экосистеме, вносят вклад в процессы самоочищения водоемов.

Пресноводные альгоценозы Евро-Арктического региона крайне чувствительны к изменениям факторов среды, включая динамику климатической системы и антропогенную нагрузку [Денисов и др., 2017]. Ранее нами было показано [Денисов, Кашулин, 2016], что отдельные представители водорослей и цианобактерий (*Dolichospermum lemmermannii* (Richter) Wack., Hoff. & Komár., *Aulacoseira islandica*

(Müll.) Simon. и др.) обладают мощным потенциалом к массовому развитию в водоемах Евро-Арктической зоны при возникновении благоприятных условий, например, при сочетании антропогенного эвтрофирования и потепления климата. Основным последствием такого развития является нарушение трофической структуры экосистемы. Так, крупноклеточные колониальные диатомеи или токсичные цианопрокариоты при массовом развитии практически не выедаются компонентом следующего трофического уровня — зоопланктоном, поэтому сформировавшаяся фитомасса не переходит на новый трофический уровень. Возможность таких явлений необходимо учитывать при экологических мониторинговых исследованиях и оценке качества вод.

Мурманская область — один из наиболее промышленно развитых регионов Арктической зоны РФ. Здесь сосредоточены крупные металлургические предприятия: ПАО «ГМК «Норильский никель»», ПАО «ФосАгро», ПАО «Северсталь» и др. Металлургическое производство — наиболее опасный источник загрязнения пресных вод как при непосредственном поступлении в водоемы сточных вод, так и в результате атмосферных выпадений. Значительный ущерб качеству вод наносит складирование отходов металлургических производств, приводящее к деградации ландшафтов и долговременному поступлению загрязняющих веществ в окружающую среду. Приемниками и естественными накопителями поллютантов служат водные объекты, расположенные в непосредственной близости к металлургическим предприятиям. Их экосистемы развиваются в условиях длительной интоксикации тяжелыми металлами (ТМ), соединениями алюминия, оксидами серы и азота. Биота этих водоемов оказывается подверженной хроническому стрессу, поскольку экстремальные природные условия дополняет высокий уровень промышленного загрязнения.

Фитопланктон малых субарктических водоемов в импактной зоне металлургических предприятий — уникальный модельный объект для анализа экологических последствий техногенного загрязнения пресных вод. Разработка и совершенствование систем биоиндикации на основе водорослевых сообществ особо актуальна в связи с мощным развитием промышленности и дальнейшим освоением стратегических ресурсов Арктической зоны РФ. В отличие от химико-аналитических методов, требующих наряду со сложным оборудованием проведения систематического мониторинга качества вод, биоиндикация на основе альгоценозов позволяет получить быструю, комплексную, интегральную оценку в виде непосредственного отклика биоты на условия окружающей среды. В этой связи перспективны исследования водорослевых сообществ, развивающихся в условиях мощной техногенной нагрузки.

Цель работы состояла в анализе видового состава и структуры альгоценозов в водных объектах, находящихся в зонах воздействия металлургической промышленности, оценке их количественных показателей, характеристике современного состояния пресноводных экосистем и выявлении причин и последствий их трансформации.

### **Материал и методика**

Исследования сообществ фитопланктона были выполнены в двух районах Мурманской области, подверженных интенсивному промышленному загрязнению предприятиями черной и цветной металлургии: Оленегорским горно-обогатительным комбинатом АО «ОЛКОН» ПАО «Северсталь» и Мончегорской площадкой Кольской ГМК ПАО «Норильский никель» (МП КГМК) (рис. 1).

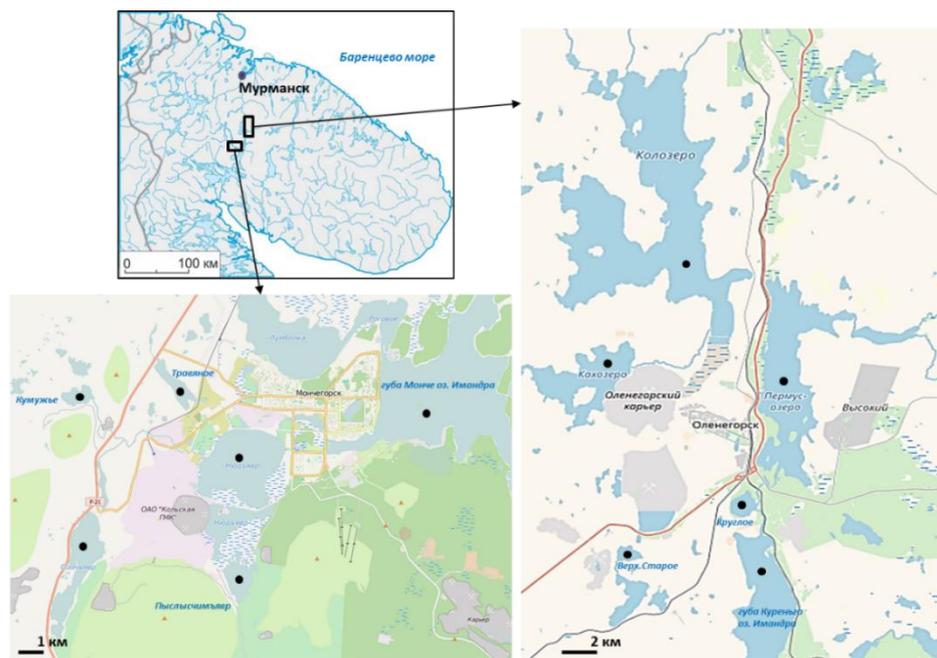


Рис. 1. Карта-схема расположения водных объектов исследования и станции отбора проб

Воздействие предприятия «ОЛКОН» на водные объекты проявляется в трансформации химического состава вод в результате поступления фильтрационных вод хвостохранилища и отвалов. Приоритетные загрязнители — сульфиды, входящие в состав железистых кварцитов, и атмосферные выбросы  $SO_2$  от МП КГМК. В водоемах отмечено повышенное, по сравнению с фоном, содержание основных ионов и увеличение минерализации воды. Содержание  $NO_3^-$  в некоторых озерах выше содержания главных ионов  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  в пересчете на эквивалентную концентрацию, что обусловлено применением взрывчатых веществ при добыче железных руд [Даувальтер, Кашулин, 2018; Даувальтер, 2019].

Водные объекты в зоне воздействия МП КГМК подвержены интенсивному аэротехногенному загрязнению, а некоторые из них непосредственно принимают сточные воды медно-никелевого производства. Качество поверхностных вод определяется долговременной экстремальной техногенной нагрузкой, сочетающей высокие концентрации поллютантов в воде и донных отложениях, выраженную деградацию природно-ландшафтных комплексов, почвенного и растительного покрова на водосборных территориях [Даувальтер, Кашулин, 2011]. Экстремальное загрязнение привело к обеднению видового состава гидробионтов и кардинальной трансформации их сообществ по сравнению с природными [Денисов и др., 2018].

В каждом районе было выбрано по шесть водных объектов, включая разнотипные озера, а также отдельные участки акватории (губы) крупнейшего в Мурманской области оз. Имандра (табл. 1). Все исследуемые водные объекты расположены в пределах 10-километровой зоны от источников загрязнения. Исследования водных объектов в зоне воздействия «ОЛКОН» проводили в августе 2010 г., в зоне МП КГМК — в июле и августе 2016 и 2017 гг. Для анализа многолетней динамики трофического статуса губы Монче оз. Имандра использовали данные за период с 1992 по 2018 гг., включая материалы, полученные А. Н. Шаровым в 1992, 1994 и 1998 гг. [2000; 2004].

Таблица 1

## Некоторые характеристики изученных водных объектов

Объект	Координаты	Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Высота над ур. м., м
Пермусозеро	68°09'15,17"; 33°21'14,82"	24,2	142,9
Круглое	68°05'50,82"; 33°18'13,54"	1,4	130,8
Колозеро	68°13'35,45"; 33°14'08,82"	66,3	140,9
Кахозеро	68°10'17,49"; 33°08'33,87"	12,2	163,9
Верхнее Старое	68°04'13,29"; 33°09'56,05"	0,8	181,6
Губа Куреньга оз. Имандра	68°03'35,17"; 33°19'39,99"	22,1	127,5
Кумужье	67°56'21,98"; 32°47'44,31"	0,2	187,2
Сопчъявр	67°54'30,70"; 32°48'01,60"	1,4	172,4
Пыслычимъявр	67°53'57,11"; 32°53'11,51"	0,6	136,4
Травяное	67°56'26,46"; 32°51'09,78"	0,5	131,6
Нюдъявр	67°55'27,37"; 32°53'18,94"	3,78	127,6
Губа Монче оз. Имандра	67°56'08,96"; 32°59'43,24"	10,7	127,5

Отбор и анализ проб фитопланктона проводили согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 и рекомендованным стандартным методикам [Руководство..., 1992; Правила..., 2010] по описанной ранее схеме [Денисов, 2010; Денисов, Кашулин, 2013]. Биомассу фитопланктона определяли счетно-объемным методом на основе индивидуального объема клеток (или плотных колоний), рассчитанного для каждого вида по формулам объема сходных геометрических фигур [Гусева, 1959; Кузьмин, 1984; Tikkanen, 1986].

Подсчет численности и идентификацию водорослей проводили в камере Нажотта объемом 0,1 мл на световом микроскопе Motic VA300 с иммерсионным объективом. Названия таксонов приведены в соответствии с международной альгологической базой данных [Guiry, Guiry, 2019]. На основе таксономического состава фитопланктона оценивали качество вод (с определением класса) по индексу сапробности (*S*) методом Пантле и Букка в модификации Сладечека, согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 [Pantle, Buck, 1955; Сладечек, 1967; Правила..., 2010]. Экологические характеристики обнаруженных таксонов заимствовали из публикаций [Барина и др., 2006].

Гидрохимический анализ выполняли в аналитической лаборатории ИПЭС КНЦ РАН согласно методикам [Руководство, 1977; Standard method, 1975]. В качестве условно фоновых использовали усредненные гидрохимические показатели озер тундры и северной тайги Мурманской области, удаленных от промышленных предприятий [Моисеенко, Яковлев, 1990; Кашулин и др., 2013, *a, б*; Валькова и др., 2015]. Трофический статус вод оценивали по классификации, предложенной С. П. Китаевым [2007].

Для определения концентрации хлорофилла *a* пробы воды объемом 600 мл пропускали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,47 мкм с помощью шприца Millipore с фильтровальной насадкой. Процедуру проводили непосредственно на водоеме, чтобы избежать изменений содержания фотосинтетических пигментов при транспортировке проб воды. Хлорофилл экстрагировали раствором ацетона (90 %), оптическую плотность экстрактов измеряли на спектрофотометре Hitachi UV-VIS-181. Концентрации фотосинтетических пигментов рассчитывали общепринятыми в мировой и отечественной практике методами [Determination ..., 1966, Минеева, 2004].

Для оценки условий обитания фитопланктона в водных объектах в зоне воздействия МП КГМК рассчитывали комплексный коэффициент, связывающий две группы наиболее значимых факторов: антропогенное эвтрофирование и токсическое воздействие ТМ:

$$K (Met/P) = \frac{\text{концентрация } Cd+Pb}{\text{концентрация } P(\text{общ})}$$

В основу этого соотношения легло предположение о том, что одним из факторов устойчивости планктона к токсической нагрузке можно считать избыток биогенных элементов (Денисов и др., 2018). Для расчета были выбраны наиболее токсичные ТМ — кадмий и свинец, концентрации которых в водах исследуемых озер многократно превышают фоновые показатели (табл. 2). Показателем уровня эвтрофикации вод было содержание в них общего фосфора.

### Результаты и обсуждение

**Воздействие предприятий черной металлургии.** Химический состав вод в озерах, расположенных в зоне влияния предприятия «ОЛКОН», на период отбора проб характеризовался повышенным по сравнению с фоном содержанием Ni и Cu, сульфатов и соединений азота (табл. 2). Экстремально высокое содержание нитратов, на три порядка превышающее фоновые значения, было зафиксировано в оз. Верхнее Старое, на берегах которого расположены отвалы «ОЛКОН». Несмотря на поступление сточных вод железорудного производства, концентрации железа в этих озерах находятся на уровне фоновых показателей, что можно объяснить повышенной величиной рН вод, при которой снижается растворимость соединений железа.

В составе фитопланктона были обнаружены водоросли и цианопрокариоты, относящиеся к 61 таксону рангом ниже рода, в том числе: Bacillariophyta — 39, Chlorophyta — 6, Cyanobacteria — 5, Charophyta — 4, Dinophyceae — 3, Chrysophyceae и Cryptophyta — по 2 таксона. Типичными представителями диатомовых водорослей были *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Simons, *A. subarctica* (O. Müll.) Haworth, *A. ambigua* (Grun.) Simons., *Tabellaria fenestrata* Kütz., *Asterionella formosa* Hass., *Fragilaria capucina* subsp. *rumpens* (Kütz.) Lange-Bert. Золотистые водоросли были представлены *Dinobryon bavaricum* Imh., динофитовые — *Ceratium hirundinella* (O. Müll.) Dujar., цианопрокариоты — *Tychonema bormetii* (Zukal) Anagnost. & Kom. Структура фитопланктона с доминированием диатомовых и золотистых водорослей выявлена в большинстве исследованных озер и типична для арктических водоемов. Массовыми являются преимущественно космополитные эврибионтные таксоны, способные развиваться как в эвтрофируемых, так и в олиготрофных водах. Позиции субдоминантов занимали водоросли, характерные для мезотрофных вод: *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *Asterionella formosa*, *Fragilaria capucina* Desm., *F. crotonensis* Kitt.

Средний уровень биомассы изменялся в пределах 0,2–2,14 г/м<sup>3</sup>, численность — от 90 до 742 тыс. экз/м<sup>3</sup> (рис. 2). Исключением оказалось оз. Верхнее Старое с аномально высоким уровнем биомассы фитопланктона (свыше 34 г/м<sup>3</sup>), обусловленным интенсивным развитием крупноклеточной (с размерами клеток свыше 450 мкм в длину и 20–60 мкм в ширину) динофитовой водоросли *Ceratium hirundinella*.

Таблица 2

Средние гидрохимические характеристики водоемов в зоне влияния предприятий АО «ОЛКОН» (2010 г.)

	pH	NH <sub>4</sub> , мкгN/л	SO <sub>4</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мкгN/л	Cl, мг/л	N(общ), мкгN/л	PO <sub>4</sub> , мкгP/л	P(общ), мкг/л	ТОС, мгС/л	Cu, мкг/л	Ni, мкг/л	Fe, мкг/л
1	7,10	7,5	2,52	3,5	2,45	328,75	2,00	3,25	7,4	2,13	1,30	112,50
2	7,31	13,0	16,63	5,0	5,00	239,00	1,00	3,00	3,7	4,00	5,00	23,25
3	7,17	9,0	2,74	1,0	3,03	266,25	1,50	3,25	6,7	2,15	1,20	63,25
4	7,46	2,0	17,93	0,0	2,61	320,25	2,00	4,50	4,6	2,35	2,13	27,30
5	7,25	32,0	12,65	617,5	2,76	1405,00	1,00	3,00	6,4	4,35	5,05	59,00
6	7,53	87,5	35,85	4950,0	6,25	6580,00	1,50	2,00	5,2	2,25	5,55	17,00
φ	6,80	15,0	2,00	3,5	1,60	130,00	0,80	6,00	5,00	< 1,00	< 1,00	92,00

Примечание. Водоёмы: 1 — Пермусозеро; 2 — губа Куреньга оз. Имандра; 3 — Круглое; 4 — Колозеро; 5 — Кахозеро; 6 — Верхнее Старое; φ — условно фоновые.

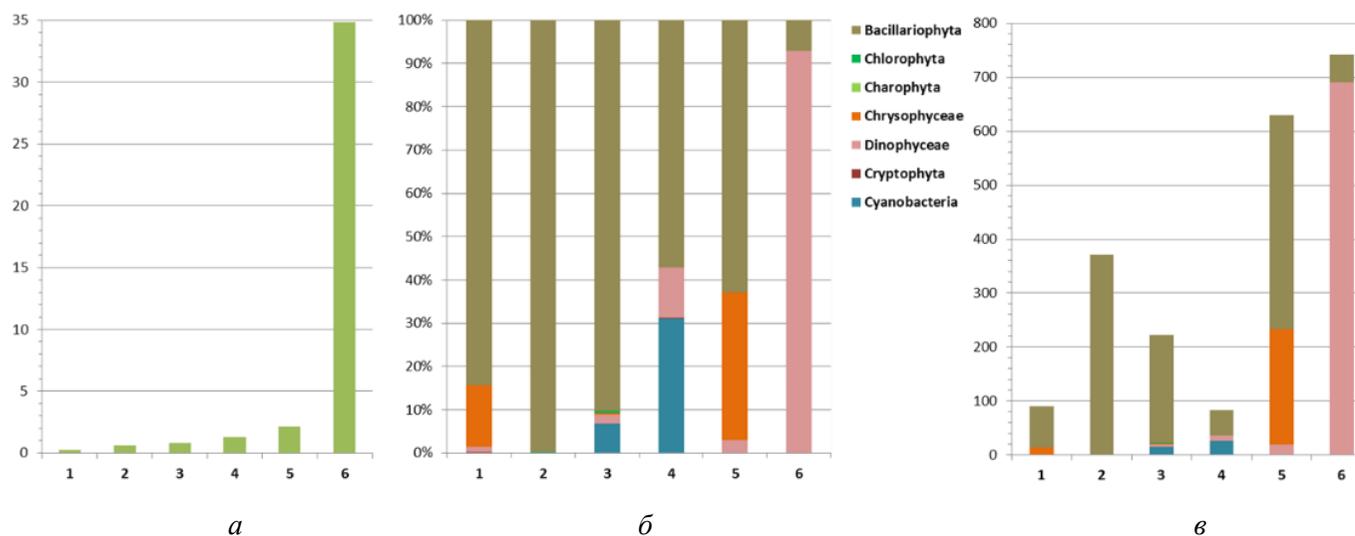


Рис. 2. Структура сообществ фитопланктона в водных объектах в зоне влияния АО «ОЛКОН»:  
*a* — биомасса, г/м<sup>3</sup>; *б* — соотношение численности крупных таксономических категорий, %; *в* — численность, тыс. экз/м<sup>3</sup>;  
 1 — Пермусозеро; 2 — губа Куреньга оз. Имандра; 3 — оз. Круглое; 4 — Колозеро; 5 — Кахозеро; 6 — оз. Верхнее Старое

Обилие этого вида — результат избытка доступных биогенных элементов (главным образом нитратов), а также низкого уровня водообмена и сравнительно малых размеров самого озера, в которое поступают воды с карьеров, дачных поселков и отстойника АО «ОЛКОН». *S. hirundinella* — планктонный вид-космополит, встречается в водоемах различного типа и способен к массовому развитию при относительно высоких температурах воды [Трифонова, 1990]. Дополнительным фактором, стимулирующим массовое развитие динофлагеллят, могло быть рекордное количество положительных аномалий температуры, отмеченное в регионе в 2010 г. [Доклад..., 2011]. Фоновые значения биомассы летнего фитопланктона в озерах северной тайги Кольского полуострова не превышают 0,56 г/м<sup>3</sup> [Летанская, 1974]. Среди исследованных озер наиболее близкими к этому пределу остаются озера Колозеро, Пермусозеро и губа Куреньга оз. Имандра. В остальных водоемах, вследствие развития процессов эвтрофикации вод, уровень биомассы превышал фоновые значения на порядок, а в оз. Верхнее Старое — на два порядка.

Нормой содержания хлорофилла *a* в период открытой воды для Кольского полуострова считается 0,2–0,3 мг/м<sup>3</sup> [Никулина, 1975]. Во всех исследованных озерах этот показатель оказался на порядок выше. Максимальное содержание хлорофилла *a* (мг/м<sup>3</sup>) было зафиксировано в озерах Верхнее Старое (4,06) и Кахозеро (3,71), минимальное — в озерах Пермусозеро (1,56) и Круглое (1,03). Промежуточное положение занимали губа Куреньга оз. Имандра (2,24) и оз. Колозеро (2,18). Сравнительно невысокое содержание хлорофилла *a* в оз. Верхнее Старое при экстремально высоких значениях биомассы может быть связано с низкой фотосинтетической активностью доминирующей динофитовой водоросли *S. hirundinella*, способной к миксотрофии, то есть сочетанию автотрофного питания с гетеротрофным (Jacobson, Anderson, 1986).

Содержание биогенных элементов является наиболее значимым гидрохимическим фактором, определяющим качественный состав и количественные показатели фитопланктона исследованных водоемов. Концентрация фосфатов во всех озерах на период исследований на порядок превышала фоновые показатели, при этом содержание общего фосфора соответствовало фоновому (табл. 2). Установлены интересные зависимости биомассы водорослей от концентрации биогенов в воде: для динофлагеллят — от нитратов, диатомей — от фосфатов, цианопрокариот — от содержания общего фосфора (рис. 3).

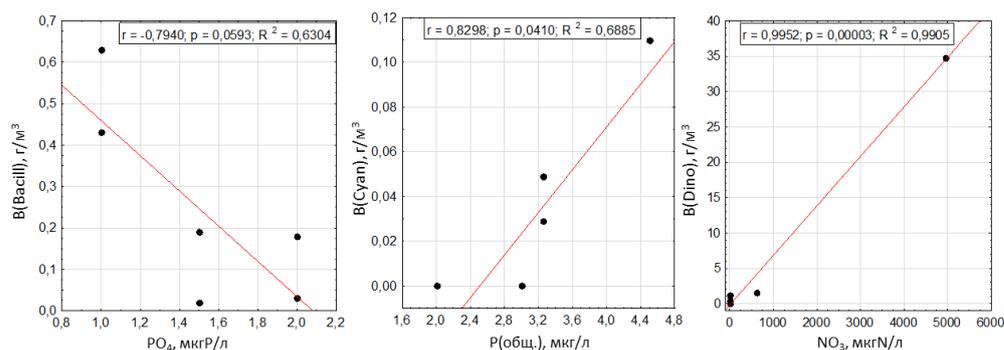


Рис. 3. Биомасса водорослей в зависимости от концентрации биогенных элементов в зоне влияния АО «ОЛКОН»:

Bacill — диатомовые водоросли (Bacillariophyta); Cyan — цианопрокариоты (Cyanobacteria); Dino — динофитовые водоросли (Dinophyta)

По степени сапробности (*S*), рассчитанной по показателям фитопланктона, водоемы находились в пределах от олигосапробной (*o*) до бетамезосапробной (*β*) категории. Класс качества вод варьировал от I (очень чистые) до III (умеренно загрязненные) в пределах лимноссапробной категории. Наименьшее значение индекса *S* (0,93) было характерно для оз. Колозеро, наибольшее — (2,28) для оз. Круглое.

**Воздействие предприятия цветной металлургии.** Воды озер, исследованных в зоне влияния Мончегорской площадки «Кольской ГМК», характеризуются многократным превышением содержания загрязняющих веществ — ТМ (Cu, Ni, Pb, Cd) и сульфатов, а также биогенных элементов (табл. 3). Наибольшие концентрации хлоридов, сульфатов, меди и никеля, на два порядка превышавшие фоновые показатели, наблюдались в оз. Нюдъявр — непосредственном приемнике сточных вод МП КГМК. Воды озера в настоящее время могут рассматриваться как слабосоленые [Даувальтер, Кашулин, 2011]. Гидрохимические условия формирования качества вод остальных озер отражают преимущественно результат аэротехногенного загрязнения. Для губы Монче оз. Имандра характерно сочетание обоих путей поступления поллютантов. Очевидно, экосистемы озер развиваются под комплексным влиянием двух основных факторов: биогенного и токсического.

В составе фитопланктона исследованных водных объектов выявлено 89 таксонов водорослей и цианопрокариот рангом ниже рода: Bacillariophyta — 43, Chlorophyta — 15, Charophyta — 12, Cyanobacteria — 8, Dinophyceae — 5, Chrysophyceae — 3, Euglenophyta и Cryptophyta — по 1 таксону. Все исследованные озера резко различались по таксономическому составу, доминирующим таксонам и видовому богатству фитопланктона (рис. 4). В оз. Кумужье типичными были представители цианопрокариот *Pseudanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., динофлагелляты *Peridinium bipes* Stein, диатомеи *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kramm., *Tabellaria flocculosa*, зеленые водоросли *Chlorella mucosa* Korsh., харовые водоросли *Spondylosium secedens* (De Bary) Arch. и *Spirogyra* sp. В оз. Сопчъявр обнаружены зеленые нитчатые водоросли рода *Ulothrix*, представители рода *Chlamydomonas* и динофлагелляты *P. bipes*. В оз. Пыслычимъявр доминировали динофлагелляты *P. bipes*, встречались диатомовые *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Kram. В оз. Травяное абсолютным доминантом была цианобактерия *P. limnetica*. Большим таксономическим богатством характеризовалось оз. Нюдъявр, где доминировали диатомеи *Fragilaria capucina* subsp. *rumpens* (Kütz.) Lange-Bert., *F. capucina* var. *gracilis* (Oestr.) Huste., *Surirella brebissonii* Kram. & Lange-Bert., зеленые водоросли *Stigeoclonium longipilum* Kütz. и цианопрокариоты *Anabaena* sp. Фитопланктон губы Монче оз. Имандра соответствовал таковому в эвтрофируемых участках оз. Имандра [Денисов, Косова, 2017] с доминированием видов *Asterionella formosa*, *A. islandica*, *Fragilaria crotonensis* Kitt. и отличается наибольшим таксономическим богатством.

В целом видовой состав и структура сообществ фитопланктона всех исследованных водоемов кардинально отличались от фоновых озер Мурманской области высокой долей цианопрокариот и динофлагеллят, что является одним из показателей токсической нагрузки. В малых озерах в составе фитопланктона присутствовали нитчатые водоросли, характерные для обрастаний. Отдельные черты природных водоемов сохраняет альгофлора губы Монче оз. Имандра, где высока доля диатомовых и присутствуют золотистые водоросли (*Dinobryon divergens* Imh. и *Synura* sp.), что объясняется сравнительно большими размерами водного объекта и выраженными водообменными процессами. Альгофлора губы Монче оз. Имандра сохранила черты природных водоемов, что объясняется сравнительно большими размерами водного объекта и выраженными водообменными процессами; здесь была высокой доля диатомей и присутствовали золотистые водоросли *Dinobryon divergens* Imh. и *Synura* sp.

Средние гидрохимические характеристики озер в зоне влияния МПКГМК (2016-2017 гг.)

	pH	NH <sub>4</sub> , мкгN/л	SO <sub>4</sub> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мкгN/л	Cl, мг/л	N(общ), мкгN/л	PO <sub>4</sub> , мкгP/л	P(общ), мкг/л	ТОС, мгС/л	Cu, мкг/л	Ni, мкг/л	Pb, мкг/л	Cd, мкг/л
1	6,89	31,00	14,00	13,43	0,80	174,00	6,00	10,71	3,65	16,43	77,80	0,34	0,02
2	7,06	17,00	20,26	139,14	4,34	288,57	4,29	12,14	2,52	41,03	270,29	1,40	0,04
3	6,70	16,00	26,47	15,71	1,24	252,43	2,43	9,29	4,44	98,59	275,57	0,44	0,12
4	6,97	38,71	13,22	46,29	4,49	350,86	6,71	20,29	6,54	177,29	186,14	0,86	0,08
5	8,62	74,00	550,00	95,86	241,91	518,14	19,00	41,43	4,85	199,46	335,29	0,50	0,10
6	7,10	60,50	24,90	5,00	11,00	328,00	6,00	26,00	4,32	10,50	0,66	–	0,01
ф	6,80	15,00	2,00	3,50	1,60	130,00	0,80	6,00	5,00	<1,00	<1,00	0,00	0,00

Примечание. Озера: 1 — Кумужье; 2 — Сопчъявр; 3 — Пыслычимъявр; 4 — Травяное; 5 — Нюдъявр; 6 — губа Монче оз. Имандра, ф — условно фоновые.

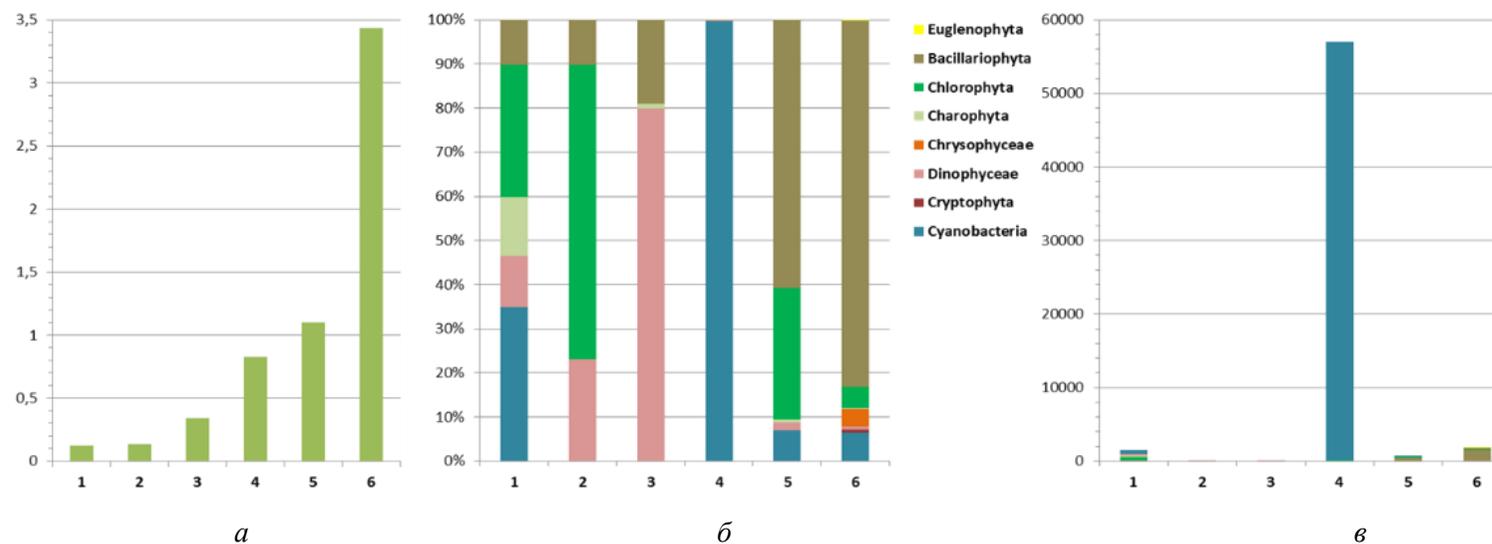


Рис. 4. Структура сообществ фитопланктона в водных объектах в зоне влияния МП КГМК:

а — биомасса, г/м<sup>3</sup>; б — соотношение численности крупных таксономических категорий, %; в — численность, тыс. экз/м<sup>3</sup>.

Озера: 1 — Кумужье; 2 — Сопчъявр; 3 — Пыслычимъявр; 4 — Травяное; 5 — Нюдъявр; 6 — губа Монче оз. Имандра

Губа Монче подвержена процессам длительного антропогенного эвтрофирования. По уровню биомассы фитопланктона и содержанию хлорофилла *a* в период с 1992 по 2018 гг. воды губы соответствовали мезотрофному статусу, а в некоторые годы достигали эвтрофного. Рост трофического статуса происходил в период с 1992 по 2006 г., затем количественные показатели фитопланктона снижались (рис. 5). К сожалению, нерегулярность проводимых отборов проб не дает оснований для заключения о дальнейшем снижении трофического статуса вод. Очевидно, развитие экосистемы губы Монче в условиях длительного загрязнения и эвтрофирования привело к формированию сравнительно стабильной альгофлоры, численные показатели которой соответствуют мезотрофным водам, что подтверждается гидрохимическими показателями.

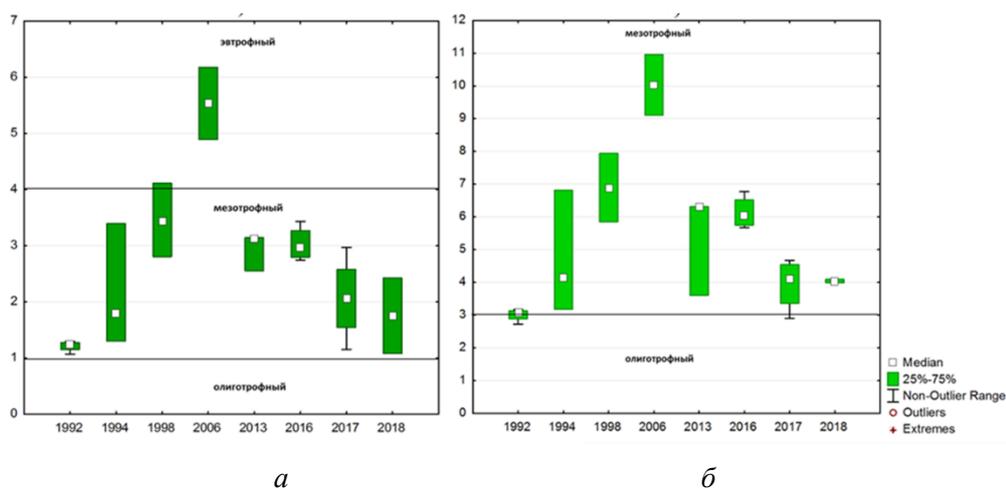


Рис. 5. Изменение трофического статуса вод губы Монче оз. Имандра в 1992–2018 гг.: *a* — биомасса фитопланктона, г/м<sup>3</sup>; *б* — содержание хлорофилла *a*, мг/м<sup>3</sup>

Средний уровень биомассы фитопланктона был не высоким — в пределах 0,13–3,43 г/м<sup>3</sup>, при этом численность варьировала в широких пределах от 88 до 56,979 тыс. экз/м<sup>3</sup> (рис. 4). Самая высокая биомасса была отмечена в губе Монче, в остальных водоемах количественные показатели фитопланктона соответствовали олиготрофным водам. Максимально высокой численностью фитопланктона отличалось оз. Травяное, где в массе развивалась цианобактерия *Pseudanabaena limnetica*. Содержание хлорофилла *a* в планктоне варьировало в диапазоне 0,51–6,98 мг/м<sup>3</sup>, наибольшей фотосинтетической активностью характеризовались альгоценозы губы Монче оз. Имандра, наименьшей — оз. Кумужье.

По степени сапробности (*S*) все водоемы находились в пределах от ксеносапробной (*x*) до бетаолигосапробной (*β-о*) категории. Класс качества вод варьировал от I (очень чистые) до III (умеренно загрязненные) в пределах лимноссапробной категории. Минимальное значение индекса *S* (0,36) было характерно для оз. Сопчявр, наибольшее (1,60) — для оз. Травяное. Применение индекса *S* для оценки качества вод в водоемах, подверженных интенсивному загрязнению предприятиями цветной металлургии, ограничено вследствие двух причин: предельно малого числа таксонов, недостаточного для расчета количества сапробионтов, и выраженной токсической нагрузки, подавляющей развитие водорослей даже при наличии достаточного количества биогенных элементов

(соединений азота и фосфора). В рассматриваемом случае объективно заниженные значения индекса  $S$  в условиях биогенной нагрузки можно учитывать в качестве индикатора токсического загрязнения вод.

Одним из факторов устойчивости планктонных организмов к токсической нагрузке может быть достаточное количество биогенных элементов. Чрезмерные концентрации токсикантов замедляют процессы эвтрофирования, что демонстрирует низкий трофический статус озер по показателям фитопланктона [Денисов и др., 2018]. Для изученных озер характерно различное сочетание трофической и токсической нагрузки, что затрудняет поиск общих закономерностей на фоне высокой вариабельности батиметрических, гидрологических, ландшафтно-географических и других условий. Достоверных зависимостей показателей фитопланктона от гидрохимических характеристик, включая содержание биогенных элементов и концентрацию ТМ, выявлено не было. Эти показатели связывает коэффициент  $K$  ( $Met/P$ ), использование которого позволяет с определенной долей условности проанализировать комплексное воздействие как трофической, так и токсической нагрузки на альгоценозы. Так, выявлена связь коэффициента  $K$  с таксономическим разнообразием фитопланктона, выраженным числом видов и уровнем биомассы (рис. 6).

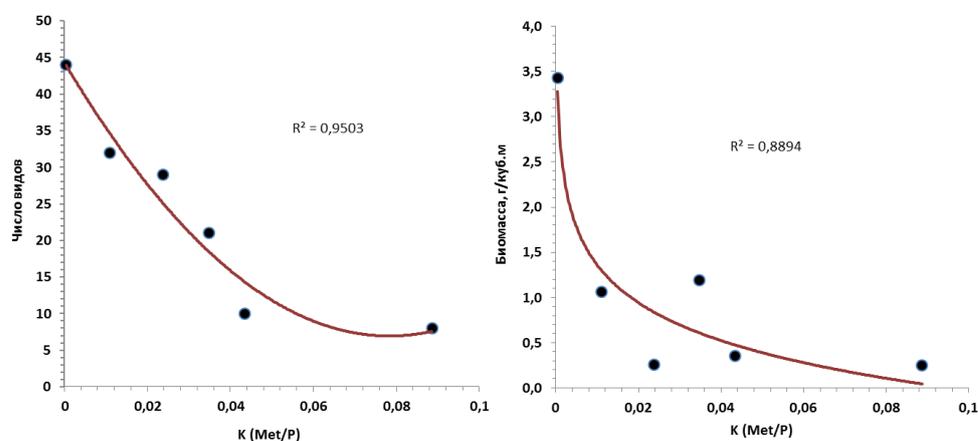


Рис. 6. Зависимость числа видов и биомассы фитопланктона от соотношения концентрации металлов (Cd и Pb, мкг/л) и содержания общего фосфора (мкг/л) в водных объектах в зоне влияния МП КГМК

Токсичные тяжелые металлы (Cd и Pb) угнетают фотосинтетическую активность фитопланктона, биогенные элементы, напротив, способствуют интенсификации фотосинтеза. Следовательно, водорослевые сообщества, развивающиеся в условиях достаточного количества или избытка биогенных элементов, способны активнее противостоять токсической нагрузке. Таким образом, величина  $K$  ( $Met/P$ ) позволяет оценить качество вод и состояние водных объектов с различным соотношением токсической и трофической нагрузки.

Полученные зависимости позволяют ранжировать исследованные водные объекты в направлении увеличения степени деградации их экосистем следующим образом: губа Монче – Нюдъявр – Кумужье – Травяное – Пыслычимъявр – Сопчъявр. Очевидно, что степень нарушения экосистем максималена у малых озер с низким уровнем водообмена, находящиеся в непосредственной близости к МП КГМК. Более крупные водные объекты (оз. Нюдъявр и губа Монче оз. Имандра) за счет избытка биогенных элементов и выраженного водообмена обладают определенной

устойчивостью экосистем, несмотря на прямое поступление сточных вод цехов МП КГМК. Промежуточное положение занимает оз. Кумужье, водосборная территория которого в наименьшей степени подвержена влиянию деятельности МП КГМК, однако характеризуется уязвимостью экосистем к аэротехногенному загрязнению из-за отсутствия источника биогенных элементов.

### Заключение

Водоемы Мурманской области, находящиеся в непосредственной близости от металлургических предприятий, характеризуются кардинальными отличиями гидрохимических условий формирования качества вод, при которых многократно превышены условно фоновые показатели и по токсичным тяжелым металлам, включая кадмий и свинец, и по биогенным элементам — соединениям фосфора и азота. Экстремальные условия обитания водорослей и цианопрокариот в наибольшей степени реализуются в малых озерах с низким уровнем водообмена, расположенных в непосредственной близости от источников загрязнения в пределах техногенно трансформированного ландшафта.

Исследования [Барина, 2018] показали, что нитратный азот исчерпывается организмами-автотрофами во всех случаях, когда фотосинтезу не препятствуют негативные воздействия, например, токсическое загрязнение. В большинстве исследованных водоемов содержание  $\text{NO}_3$  превышало фоновые показатели, что свидетельствовало о подавлении в различной степени фотосинтетической активности фитопланктона в результате токсического воздействия высоких концентраций металлов.

Воздействие предприятия черной металлургии «ОЛКОН» на фитопланктон проявляется в основном в экстремально высоких концентрациях  $\text{NO}_3$  и  $\text{NH}_4$ , поступающих в водоемы вследствие использования нитрат-содержащих взрывчатых веществ при добыче руды. Так, превышение фоновых концентраций нитратов на три порядка, наряду с положительными аномалиями температуры воздуха в 2010 г., вызвало массовое развитие динофлагеллят (*C. hirundinella*), при котором общая биомасса фитопланктона достигла  $34,8 \text{ г/м}^3$ . При этом фотосинтетическая активность *C. hirundinella* оказалась низка вследствие способности к миксотрофному питанию. Соединения железа существенного воздействия на фитопланктон, по-видимому, не оказывают, так как повышенные значения pH снижают их растворимость. Большинство исследованных водных объектов сохранили черты альгофлоры, характерные для фоновых арктических озер с доминированием диатомовых и золотистых водорослей.

Более негативные последствия токсического воздействия на фитопланктон наблюдались в зоне предприятия цветной металлургии МП КГМК. Таксономическая структура фитопланктона кардинально отличалась от типичной для арктических вод из-за высокой доли цианопрокариот и динофлагеллят. Малые озера, расположенные в непосредственной близости от источника загрязнения, предельно обеднены по таксономическому составу (менее 10 таксонов рангом ниже рода). При этом количественные показатели могут быть значительными: в результате массового развития *Pseudanabaena limnetica* в оз. Травяное численность фитопланктона достигала 57 тыс. экз/м<sup>3</sup>. Крупные размеры озера, наряду с интенсивным водообменом и наличием избытка биогенных элементов (соединений фосфора и азота), способствуют устойчивости водорослей к токсическому загрязнению. Выявлена зависимость показателя *K (MetP)*, суммирующего трофическую и токсическую нагрузку, от числа видов и уровня биомассы фитопланктона, что подтверждает способность альгоценозов противостоять токсическому воздействию при наличии достаточного количества элементов минерального питания, в первую очередь

соединений фосфора. Установлено, что воды губы Монче оз. Имандра имеют мезотрофный статус, начиная, как минимум, с 1992 г. и по настоящее время. Это привело к формированию сравнительно устойчивого сообщества фитопланктона, представленного преимущественно диатомовыми водорослями. Использование индекса сапробности  $S$  для оценки качества вод в условиях загрязнения предприятиями цветной металлургии должно производиться с учетом токсической нагрузки, которая существенно занижает расчетные значения; при этом индекс может выступать в качестве косвенного индикатора факта токсического воздействия на альгоценозы.

*Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИППЭС КНЦ РАН, тема: «Закономерности функционирования арктических пресноводных экосистем в условиях изменения климата и усиления антропогенного воздействия» (№ АААА-А19-119041890010-4) и частично поддержана из средств гранта РФФИ 18-05-60142 «Арктика».*

### Литература

- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.
- Барина С. С.* Проблема интегральной оценки токсического влияния на фотосинтетические организмы в водных экосистемах // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 1. С. 39–43.
- Валькова С. А., Денисов Д. Б., Терентьев П. М., Вандыш О. А., Кашулин Н. А.* Гидробиологическая характеристика некоторых малых озер зоны северной тайги (Кольский полуостров) // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 4. С. 79–93.
- Гусева К. А.* К методике учета фитопланктона // Тр. Ин-та биологии водохранилищ. Л., 1959. Т. 2. С. 44–51.
- Даувальтер В. А.* Гидрохимия озер в зоне влияния стоков производства железорудного сырья // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 1. С. 167–176.
- Даувальтер В. А., Кашулин Н. А.* Эколого-экономическая оценка необходимости извлечения донных отложений оз. Нюдъявр Мончегорского района Мурманской области // Вестник МГТУ. 2011. Т. 14, № 4. С. 884–891
- Даувальтер В. А., Кашулин Н. А.* Оценка экологического состояния водных объектов в зоне влияния деятельности АО «Олкон» (Оленегорский ГОК) // Наука и образование в Арктическом регионе: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: МГТУ, 2018. С. 186–192.
- Денисов Д. Б.* Экологические особенности водорослевых сообществ разнотипных субарктических водоемов // Вестник КНЦ РАН. 2010. № 1. С. 48–55.
- Денисов Д. Б., Валькова С. А., Терентьев П. М., Сандимиров С. С., Вандыш О. И.* Современное состояние экосистемы оз. Имандра в зоне влияния Кольской АЭС (Мурманская область) // Вода: химия и экология. 2017. № 6. С. 41–51.
- Денисов Д. Б., Валькова С. А., Терентьев П. М., Черепанов А. А., Разумовская А. В.* Экологическая характеристика малых озер в зоне деятельности Мончегорской площадки АО «Кольская ГМК» // Труды КарНЦ РАН. Серия: Лимнология и океанология. 2018. № 9. С. 65–76.
- Денисов Д. Б., Кашулин Н. А.* Современное состояние водорослевых сообществ планктона в зоне влияния Кольской АЭС (оз. Имандра) // Труды КНЦ РАН. Серия: Прикладная экология Севера. 2013. № 3 (16). С. 70–96.
- Денисов Д. Б., Кашулин Н. А.* Цианопрокариоты в составе планктона оз. Имандра (Кольский полуостров) // Труды КНЦ РАН. Серия: Прикладная экология Севера. 2016. Вып. 4, № 7 (41). С. 40–56.

Денисов Д. Б., Косова А. Л. Разнообразие диатомовых водорослей (Bacillariophyta) озера Имандра (Кольский полуостров) // Труды XIV Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. Апатиты, 2017. С. 448–450.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 год. М., 2011. 66 с.

Кашулин Н. А., Сандимиров С. С., Даувальтер В. А., Кудрявцева Л. П., Терентьев П. М., Денисов Д. Б., Вандыш О. И., Королева И. М., Валькова С. А., Кашулина Т. Г. Аннотированный экологический каталог озер Мурманской области: центральный и юго-западный районы Мурманской области (бассейны Баренцева и Белого морей и Ботнического залива Балтийского моря). Апатиты: КНЦ РАН, 2013 а. Ч. 1. 298 с. 2013 б. Ч. 2. 253 с.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

Кузьмин Г. В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей. Магадан, 1984. 48 с.

Летанская Г. И. Фитопланктон и первичная продукция озер Кольского полуострова // Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Л., 1974. Ч. 2. С. 143–179.

Минеева Н. М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М.: Наука, 2004. 156 с.

Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990. 221 с.

Никулина В. Н. Фитопланктон // Биологическая продуктивность северных озер. В 2-х ч. Ч. 2: Озера Зеленецкое и Акулькино. Л.: Наука. 1975. С. 37–52.

Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. ГОСТ 17.1.3.07–82 // Контроль качества воды: сб. ГОСТов. М.: Стандартиформ, 2010.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / В. А. Абакумов (ред.). СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды. Санитарная и техническая гидробиология. М.: Наука, 1967. С. 26–31.

Трифоновна И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 184 с.

Шаров А. Н. Структура фитопланктона водоемов Крайнего Севера в условиях техногенного загрязнения: дисс. ... канд. биол. наук. Апатиты, 2000. 168 с.

Шаров А. Н. Фитопланктон водоемов Кольского полуострова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 113 с.

Determination of photosynthetic pigments in sea water: monography / Rep. of SCOP-UNESCO Working Group 17. Paris, UNESCO. 1966. P. 9–18.

Guiry M. D., Guiry G. M. Algae base // World-wide electronic publication. National University of Ireland. Galway, 2019. URL: <http://www.algaebase.org>

Jacobson D. M., Anderson D. M. The ciliate heterotrophic dinoflagellates: feeding behavior and mechanisms // J. Phycol. 1986. Vol. 22. P. 249–258.

Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas- und Wasserbach. 96 (18). 1955. 604 s.

Standard method for examination for water and wastewater / L. S. Clescerl et al. (eds.). USA, 1975. 119 p.

Tikkanen T. Kasviplanctonopas. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy. Helsinki. 1986. 279 p.

### *Сведения об авторе*

#### **Денисов Дмитрий Борисович**

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией водных экосистем Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты denisow@inep.ksc.ru

#### **Denisov Dmitry Borisovich**

PhD (Biology), Head of the Laboratory of the Aquatic Ecosystems of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, denisow@inep.ksc.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.108-122

УДК 631.466

**М. В. Корнейкова, В. В. Редькина, В. А. Мязин, Н. В. Фокина, Р. Р. Шалыгина**  
*Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН*

### **МИКРООРГАНИЗМЫ ПОЧВ ПОЛУОСТРОВА РЫБАЧИЙ**

#### **Аннотация**

В статье приведены результаты исследований микробных сообществ в органогенном горизонте тундровых почв п-ова Рыбачий (Мурманская область): Al-Fe-гумусовых подзолов, подбуров, сухо-торфяных и торфяно-болотных низинных, примитивных криогенных и каменистых почв. Дана характеристика фототрофного (водоросли и цианобактерии) и гетеротрофного (бактерии, микроскопические грибы) компонентов, характеризующих продукционный и деструкционный потенциал почв. Микробиологические данные дополнены характеристикой физико-химических свойств изученных почв. Численность бактерий и микромицетов, длина и биомасса грибного мицелия определены методами прямого счета и посева на твердые питательные среды. Видовое разнообразие микроскопических грибов, микроводорослей и цианобактерий охарактеризовано по культурально-морфологическим признакам. Отмечено сходство почв альфегумусового отдела для п-ова Рыбачий и Кольского п-ова по количественным показателям микробных сообществ, за следующим исключением: показатели длины и биомассы грибного мицелия в органогенных горизонтах почв Рыбачьего заметно выше. Разнообразие почвенных микромицетов было представлено 12 видами. В органогенных горизонтах подбуров, сухо-торфяных, торфяно-болотных почв и подзолов по обилию и частоте встречаемости доминировал вид *Penicillium decumbens*, в примитивных каменистых почвах — виды *P. raistrickii* и *P. glabrum*, в примитивных криогенных — *Mortierella stylospora*. Обнаружено 80 видов водорослей и цианобактерий. Наиболее богаты видами органогенные горизонты сухо-торфяных и торфяно-болотных низинных почв Рыбачьего, где цианобактерии, зеленые и диатомовые водоросли вносили равный вклад в общее видовое разнообразие. Остальные типы почв характеризовались низким числом видов микрофототрофов с преобладанием зеленых водорослей классов Chlorophyceae и Trebouxiophyceae.

#### **Ключевые слова:**

*бактерии, микроскопические грибы, водоросли, цианобактерии, биоразнообразие, тундровые почвы, органическое вещество, полуостров Рыбачий.*

## **SOIL MICROORGANISMS OF THE RYBACHY PENINSULA**

### **Abstract**

Microbial communities were studied of the organogenic horizon in the tundra soils of the Rybachy Peninsula, including primitive cryogenic and rocky soils, Al-Fe-humus podzols, podburs, dry peaty, and lowland moor peat soils. The phototrophic (algae and cyanobacteria) and heterotrophic (bacteria, microscopic fungi) components of microbiocenoses characterizing of soils production and decomposition potential were examined. Microbiological data were combined with the physical and chemical properties of the studied soils. Bacterial and fungal populations, fungal mycelium length and biomass were determined by the direct count and selective nutrient medium plating. The species diversity of microscopic fungi, microalgae, and cyanobacteria was characterized based on culture and morphological features. Similarity in the Al-Fe humus soils of the Rybachy Peninsula and the Kola Peninsula was found in terms of some quantitative indicators of microbial communities, with the exception of fungal mycelium length and biomass, which were much higher organogenic horizons of the Rybachy Peninsula. Soil micromycetes were represented by 12 species. *Penicillium decumbens* dominated in the terms of abundance and frequency of occurrence in the organogenic horizons of podburs, dry peaty, lowland moor peat soils, and podzols. Fungi *P. raistrickii* and *P. glabrum* dominated in primitive rocky soils, while *Mortierella stylospora* prevailed in primitive cryogenic soils. In total, 80 species of algae and cyanobacteria were found in organogenic horizons of different soils. Organogenic horizons of dry peaty and lowland moor peat soils had the highest species richness, with an equal contribution of green and diatom algae and cyanobacteria to the total species diversity. Organogenic horizons of other soils were characterized by a low number of species, mainly green algae of Chlorophyceae and Trebouxiophyceae classes.

### **Keywords:**

*bacteria, microscopic fungi, algae, cyanobacteria, biodiversity, tundra soils, organic matter, Rybachy Peninsula.*

### **Введение**

Полуостров Рыбачий расположен на северо-западе Мурманской части побережья Баренцева моря и относится к южной полосе субарктических тундр [Александрова, 1977]. Полуостров сложен древнепалеозойскими осадочными породами (сланцы, кварциты, доломиты, песчаники, известняки) [Рихтер, 1936]. Здесь, как и в целом в тундровой зоне Кольского п-ова, доминируют Al-Fe-гумусовые подзолы отдела альфегумусовых почв. В условиях затрудненного внутреннего дренажа формируются подбуры — самостоятельный тип альфегумусовых почв, в которых отсутствует подзолистый горизонт. Пониженные элементы рельефа заняты гидроморфными торфяными и болотными почвами. При отсутствии многолетней мерзлоты криогенные процессы носят локальный характер и проявляются в виде отдельных пятен морозного выпучивания на поверхности переувлажненных почвогрунтов [Классификация почв..., 1997; Переверзев, 2001]. На элювии шиферных сланцев встречаются «карликовые» подзолы с нарушенным простирием генетических горизонтов [Королева, Переверзев, 2007].

Микроорганизмы имеют чрезвычайно важное значение в функционировании арктических экосистем. Наиболее интенсивное изучение микрофлоры тундровых почв и ее активности в Западной полушарии проводилось на о. Девон (Канада) и м. Барроу (Аляска, США). В Восточной полушарии исследования велись на стационарах Стордалей (Швеция), Хардангервидда (Норвегия), Кево (Финляндия), п-ове Таймыр (Россия). Аналитический обзор микрофлоры тундровых почв перечисленных районов выполнен О. М. Паринкиной [1989]. Общая биомасса микроорганизмов в почвах арктических тундр колеблется от 2 до 20 г/м<sup>2</sup>. Интенсивность новообразования

микробной массы достигает 15–20 генераций в год [Паринкина, 1989; Bunnell et al., 1980]. Доминирующую часть бактериальной биоты составляют олиготрофы, развивающиеся на средах, бедных питательными элементами. В различных почвах тундровой зоны Аляски и Таймыра количество мертвых клеток достигает 12 %. Среди бактерий преобладают неспорозные формы родов *Pseudomonas* и *Arthrobacter* [Мишустин, 1954; Jensen, 1951; Boyd et al., 1966; Syzova, Panikov, 1993]. Эти данные позднее подтвердились исследованиями состава и структуры бактериальных сообществ тундровых почв с применением молекулярно-генетических методов: было показано доминирование грамотрицательных бактерий с преобладанием *Pseudomonas* spp. (60 % бактериальных изолятов) [Кухаренко и др., 2009; Мельников и др., 2011; Лаптева и др., 2017; Mannisto, Haggbloma, 2006]. Особое внимание при исследовании микробных сообществ тундровых почв уделяется психрофильным формам [Зенова и др., 2012; Maggi et al., 2013; Dolev et al., 2016]. Велика роль микроскопических грибов в тундровых почвах как основных деструкторов растительных остатков. Однако их численность очень низка: до 0,5 тыс. колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы в каменистых тундрах плато Путорана и Полярного Урала; до 1 тыс. КОЕ/г в почвах и грунтах арх. Шпицберген [Кирцидели, 2010]. В мохово-лишайниковой тундре численность микромицетов увеличивается до 1,2 тыс. КОЕ/г, в кустарничковой — до 6,7 тыс. КОЕ/г [Кирцидели, 2001]. В целом таксономический состав микобиоты тундровых почв существенно не отличается от такового в почвах умеренной зоны: среди доминирующих в Арктике видов — представители родов *Penicillium*, *Trichoderma*, *Mortierella*, часто встречаются грибы родов *Phoma*, *Phialophora*, *Acremonium*, *Mucor*, *Paecilomyces* [Евдокимова, Мозгова, 2001; Кирцидели, 2001, 2010; Flanagan, Scarborough, 1974]. Однако тундровые почвы имеют ряд особенностей, прежде всего — доминирование форм со стерильным мицелием [Паринкина, 1989; Евдокимова, 1992; Holding, 1981; Syzova, Panikov, 1993]. Значительная часть грибов является психрофильной [Flanagan, Scarborough, 1974]. Данных по продукции и продуктивности микроскопических грибов в почвах тундры недостаточно: рассчитано, что в тундрах Аляски биомасса грибов возобновляется 2–6 раз за сезон [Alexander, 1974].

Водоросли и цианобактерии, являясь важным автотрофным компонентом тундровых экосистем, выступают основными ценозообразователями почвы, участвуют в создании органического вещества и круговороте биогенных элементов [Штина, Голлербах, 1976; Hoffmann, 1989]. Результаты альгологических исследований приведены в ряде работ зарубежных [Cameron et al., 1978; Brown et al., 1980; Aleksowicz, Luścińska, 1992] и отечественных ученых [Перминова, 1990; Сдобникова, 1986; Гецен и др., 1994; Евдокимова, Мозгова, 2001; Андреева, 2004]. Для тундровых почв характерно значительное видовое разнообразие водорослей, при этом их основная масса сосредоточена в поверхностном слое до глубины 2 см. В экотопах с сомкнутым растительным покровом преобладают зеленые и желтозеленые водоросли, значительно меньше цианобактерий и диатомей. На обнаженных участках развиваются цианобактериально-водорослевые сообщества с преобладанием цианобактерий. В период активной вегетации наземной растительности поверхностные слои обнаженной почвы обильно заселены водорослями, численность которых достигает 38 млн кл/см<sup>2</sup>, биомасса — 7 мг/см<sup>2</sup> [Гецен и др., 1994].

Цель работы состояла в изучении сообществ бактерий, микроскопических грибов, микроводорослей и цианобактерий в наиболее биологически активном — органогенном горизонте основных типов почв полуострова Рыбачий.

## Объекты и методы

Отбор проб проводили на маршруте от губы Большая Волоковая Баренцева моря на запад к м. Немецкий. На всех участках почвенные пробы отбирали в трехкратной повторности из органогенного горизонта или из слоя 0–5 см, где, как известно, сосредоточено наибольшее количество микроорганизмов. Названия типов почв приведены по классификации почв России [Шишов и др., 2004]. В пунктах отбора проб определяли координаты, высоту над уровнем моря, тип растительного сообщества. Всего было проанализировано 33 пробы в 11 экотопах (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика пунктов отбора почвенных проб на п-ове Рыбачий

№	Координаты (с.ш., в.д.)		Высота, м н. ур. м.	Экотоп / почва
1	69°49'17"	32°01'58"	20	Побережье моря. Воронично-ерниковая тундра. Подбур
2	69°49'31"	32°02'10"	73	Воронично-ерниковая тундра. Подбур
3	69°18'53"	32°03'13"	73	Склон возвышенности. Воронично-ерниковая тундра с хвощом лесным ( <i>Equisetum sylvaticum</i> ). Сухо-торфяная почва
4	69°48'5"	32°03'30"	100	Пятнистая воронично-ерниковая тундра на выходах коренных пород. Al-Fe-гумусовый подзол
5	69°48'55"	32°03'30"	100	Пятно диаметром 70 см, лишено растительности, профиль не дифференцирован. Примитивная криогенная почва
6	69°46'02"	32°06'03"	51	Березовое криволесье с покровом из злаков, герани лесной ( <i>Geranium sylvaticum</i> ), дерна шведского ( <i>Cornus suecica</i> ), вороники обоеполой ( <i>Empetrum hermaphroditum</i> ), папоротников, марьянника лесного ( <i>Melampyrum sylvaticum</i> ), бодяка разнолистного ( <i>Cirsium heterophyllum</i> ). Сухо-торфяная почва
7	69°46'03"	32°06'10"	66	Воронично-лишайниковая тундра. Подбур
8	69°45'59"	32°05'18"	0	Каменно-щебнистый субстрат в приливно-отливной зоне. Полоса лебеды голостебельной ( <i>Atriplex nudicalis</i> Bogusl.). Примитивная каменная почва
9	69°44'17"	32°10'44"	116	Равнинная воронично-лишайниковая тундра. Al-Fe-гумусовый подзол
10	69°44'16"	32°11'15"	107	Болото. Пушица ( <i>Eriophorum sp.</i> ), осоки ( <i>Carex spp.</i> ), ива травянистая ( <i>Salix herbacea</i> ). Торфяно-болотная низинная почва
11	69°44'39"	32°05'25"	15	Равнинная воронично-зеленомошная тундра с примесью морошки ( <i>Rubus chamaemorus</i> ), жирянки обыкновенной ( <i>Pinguicula vulgaris</i> ), подбела ( <i>Andromeda polifolia</i> ). Сухо-торфяная почва

Определяли следующие химические и физико-химические показатели почв: содержание общего углерода — по Никитину с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель [Практикум ..., 2001], общего азота — по Кьельдалю, обменных  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  — трилометрически после исчерпывающего вытеснения 1 н. раствором  $\text{KCl}$ , емкость катионного обмена (ЕКО) — по Бобко-Аскинази-Алешину, pH водной и солевой суспензий (1:2,5) — потенциметрически, гидролитическую кислотность — по Каппену. Для измерения относительной влажности навески почвы высушивали при 105 °С в сушильном шкафу до постоянного веса.

Численность микромицетов определяли методом посева на сусло-агар с добавлением молочной кислоты из расчета 4 мл на 1 л среды для ингибирования роста бактерий. Анализ биологического разнообразия грибов выполняли на основе культурально-морфологических признаков с использованием определителей [Raper, Thom, 1949; Егорова, 1986; Domsh et al., 2007; Seifert et al., 2011]. Видовые названия уточняли по пополняемым спискам видов в базе данных Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>).

Численность и биомассу бактерий, длину и биомассу грибного мицелия определяли прямыми методами флуоресцентной микроскопии с использованием темноокрашенных поликарбонатных мембранных фильтров Nucleopor Black с диаметром пор 0,2 — для бактерий и 0,8 мкм — для грибов. Фильтры для учета бактерий окрашивали акридином оранжевым, для учета грибов — совместно красителями FITC (флуоресцин изотиоцианата) и акридином оранжевым [Olsen, Novland, 1985].

Для исследования таксономического состава цианобактериально-водорослевых ценозов использовали методы посева песчаной суспензии на агаризованную среду и культивирования в жидких питательных средах 3N-BBM и Z8 [Гайсина и др., 2008; Kótai, 1972]. Видовую идентификацию проводили по морфологическим признакам с использованием микроскопа Olympus CX41 с камерой Jenoptik ProgRes при увеличении  $\times 1000$  с масляной иммерсией по классическим определителям [Андреева, 1998; Komárek, Anagnostidis, 2005; Ettl, Gärtner, 2014]. Названия видов водорослей и их систематическую принадлежность уточняли по электронной базе данных Algaebase [Guiry, Guiry, 2018].

Чистые культуры хранятся в коллекции микроорганизмов гербария Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (INEP) [Боровичёв и др., 2018]. Названия таксонов сосудистых растений приведены в соответствии со сводкой С. К. Черепанова [1995]. На основе коэффициента Серенсена-Чекановского (средние расстояния) с помощью программного модуля GRAPHS [Новаковский, 2004] строили графы сходства видового состава комплексов микроскопических грибов и цианобактериально-водорослевых ценозов различных типов почв п-ова Рыбачий.

## Результаты и обсуждение

### *Физико-химические показатели почв*

Для подзолов и подбуров п-ова Рыбачий характерна повышенная кислотность, как и для почв альфегумусового отдела в тундровой зоне Кольского п-ова [Евдокимова, Мозгова, 2001; Переверзев, 2001]. Кислотность органогенного горизонта исследованных почв уменьшалась от Al-Fe-гумусового подзола до примитивной каменистой почвы. Промежуточное положение занимали сухо-торфяные и торфяно-болотные почвы (табл. 2). Наибольшее значение рН было характерно для примитивной каменистой почвы на побережье, которая имела нейтральную реакцию, что может быть вызвано влиянием морской воды.

Разница между показателями рН водной и солевой суспензий в органогенном горизонте почв альфегумусового отдела и сухо-торфяной почвы превышала единицу, что свидетельствует о высокой обменной кислотности. Гидролитическая кислотность, дающая представление о содержании в почве поглощенных ионов водорода и о степени насыщенности почв основаниями, была высокой, что обусловлено присутствием большого количества фульвокислот [Переверзев, 1998, 2001].

Таблица 2

Физико-химические свойства органогенного горизонта почв п-ова Рыбачий

Почва	рН		Обменные Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> мг·экв/100 г	Гидролитическая кислотность	Насыщенность, %
	H <sub>2</sub> O	KCl			
Al-Fe-гумусовый подзол	<u>4,4–5,1</u> 4,8±0,04	<u>3,1–3,5</u> 3,3±0,1	<u>8,3–27,2</u> 17,4±3,1	<u>31,6–102,2</u> 60,6±10,0	22,3
Подбур	<u>4,5–5,2</u> 4,8±0,07	<u>2,9–3,5</u> 3,3±0,07	<u>29,4–39,2</u> 33,1±1,1	<u>73,8–96,6</u> 86,2±2,5	27,7
Сухо-торфяная	<u>4,8–5,7</u> 5,4±0,05	<u>3,4–4,4</u> 4,0±0,1	<u>23,0–59,8</u> 41,0±4,6	<u>40,9–88,9</u> 68,0±6,2	37,6
Торфяно-болотная низинная	<u>6,1–6,4</u> 6,3±0,1	<u>5,4–5,7</u> 5,6±0,1	<u>34,1–103,6</u> 68,0±4,7	<u>18,6–49,8</u> 32,8±9,1	67,5
Примитивная криогенная	5,1	4,4	2,5	1,2±0,2	67,6
Примитивная каменистая	7,2	6,7	–	–	–

*Примечание.* Здесь и далее в таблицах 3–5: над чертой — минимальные и максимальные значения (лимиты); под чертой — среднее арифметическое и ошибка средней, M±m.

Сумма обменных кальция и магния, тесно связанная с содержанием в почве илистых фракций и гумуса, была максимальным в органогенном горизонте торфяно-болотной низинной почвы. Примитивная криогенная почва характеризовалась малым содержанием обменных оснований, что обусловлено низким содержанием гумуса и высокодисперсных минеральных частиц. В целом содержание обменных кальция и магния в органогенном горизонте почв п-ова Рыбачий выше, чем в органогенном горизонте Al-Fe-гумусовых подзолов и подбуров на северо-западе Кольского п-ова [Евдокимова, Мозгова, 2001; Переверзев, 2001].

### Органическое вещество почв

Максимальное содержание органического углерода и азота было отмечено в органогенном горизонте подбуров, минимальное — в примитивной криогенной почве (табл. 3). Отношение C:N в органогенном горизонте почв альфегумусового отдела достигало 44, в сухоторфяной и торфяно-болотной почвах количество азота увеличивалось, соотношение C:N сокращалось до 15–26. Данное соотношение во многом определяется видовым составом напочвенной растительности и степенью гумификации растительных остатков. В целом отношение C:N в органогенном горизонте подзолов и подбуров п-ова Рыбачий указывает на низкую скорость минерализации органического вещества.

В примитивной криогенной почве, лишенной растительного покрова и органогенного горизонта, содержание органического вещества было довольно высоким, учитывая отсутствие поступления опада в период сбора образцов. Отношение C:N свидетельствовало о практически полном прекращении процессов трансформации органического вещества.

Водорастворимое органическое вещество — это подвижная часть гумуса, представленная продуктами разложения растительных остатков и новообразованными гумусовыми веществами, которые легко переходят в растворимую форму. Основным источником поступления растворимого органического вещества в почву является опад растений, а также корневой опад [Прокушкин и др., 2005; Власенко, 2015].

Таблица 3

Содержание гумуса, азота и водорастворимого органического вещества в органогенном горизонте почв п-ова Рыбачий (% на абс. сух. почву)

Почва	C <sub>общ.</sub>	N	C:N	C <sub>водь</sub> мг в 100 г / % от C <sub>общ.</sub>
Al-Fe-гумусовый подзол	<u>12,75–49,50</u> 31,51±5,45	<u>0,05–1,39</u> 0,72±0,20	43,8	390/1,23
Подбур	<u>45,44–56,51</u> 50,76±1,31	<u>1,03–1,41</u> 1,19±0,05	42,6	436/0,87
Сухо-торфяная	<u>24,27–52,97</u> 39,87±3,62	<u>1,11–2,17</u> 1,54±0,14	25,9	404/1,07
Торфяно-болотная низинная	<u>7,41–32,80</u> 19,80±7,34	<u>1,21–1,44</u> 1,33±0,07	14,9	388/1,96
Примитивная криогенная	3,7	0,04	92,5	27/0,73

Содержание водорастворимого гумуса в органогенном горизонте почв п-ова Рыбачий было достаточно высоким: в пределах 388–436 мг/100 г, достигая максимума в подбурах. Наименьшее количество водорастворимого органического вещества было отмечено в криогенном пятне — 27 мг/100 г почвы. В процентном соотношении наибольшее количество водорастворимого органического вещества определено для торфяно-болотной почвы, что связано с поступлением большого количества растительного опада характерных для болотных местообитаний растений (преимущественно осоковых и мхов).

### Бактерии

Общая численность бактерий, определенная методом флуоресцентной микроскопии, изменялась в органогенном горизонте большинства изученных типов почв Рыбачьего от  $3,5 \times 10^9$  до  $4,8 \times 10^9$  кл/г; бактериальная биомасса — от 0,14 до 0,19 мг/г (табл. 4). Наибольшая бактериальная биомасса (0,46 мг/г) была выявлена в ризосфере лебеды голостебельной (*Atriplex nudicalis* Vogusl.) на границе приливно-отливной зоны, наименьшая (0,001 мг/г) — в примитивной криогенной почве.

Таблица 4

Общая численность и биомасса бактерий и микроскопических грибов в органогенном горизонте почв п-ова Рыбачий

Почва	Бактерии		Грибы	
	биомасса, мг/г	численность, $10^9$ кл/г абс. сух. почвы	биомасса, мг/г	длина мицелия, м/г
Al-Fe-гумусовый подзол	0,19±0,03	4,8±0,9	1,25±0,11	1137±110
Подбур	0,14±0,02	3,5±0,9	1,55±0,13	1413±238
Сухо-торфяная	0,16±0,03	3,9±0,7	1,69±0,15	1538±334
Торфяно-болотная низинная	0,16±0,06	4,0±0,8	1,63±0,15	1482±230
Примитивная криогенная	0,001±0,0001	0,025±0,02	0,01±0,001	5,4±0,5
Примитивная каменистая	0,46±0,05	11,5±1,13	–	–

### Микроскопические грибы

Численность микроскопических грибов, определенная методом посева, изменялась от 9 до 70 тыс. КОЕ/г (рис. 1). В примитивных каменистых и криогенных, а также торфяно-болотных почвах была отмечена низкая численность микромицетов, что, вероятно, связано с типом растительного покрова, значениями pH и, в случае примитивных каменистых почв, с влиянием морской воды. В подбурах, подзолах и сухо-торфяных почвах численность микроскопических грибов была сопоставима и составляла 50–70 тыс. КОЕ/г. Эти значения находятся на нижней границе численности для фоновых тундровых почв Кольского п-ова, которая изменяется в пределах от 8 до 328 тыс. КОЕ/г [Корнейкова, 2018].

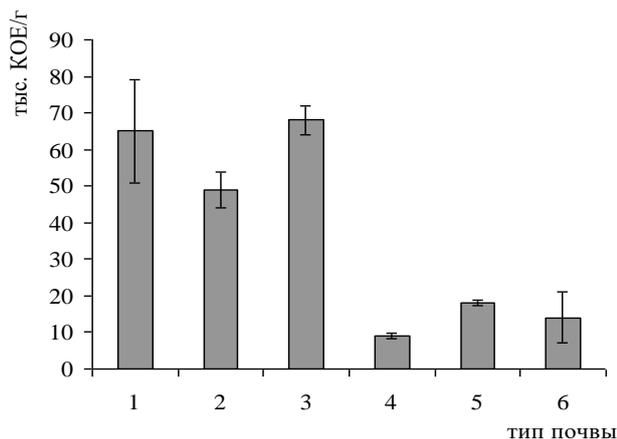


Рис. 1. Численность микроскопических грибов в почвах п-ова Рыбачий, тыс. КОЕ/г.

Почвы: 1 — подбуры; 2 — сухо-торфяные; 3 — подзолы; 4 — примитивные криогенные; 5 — примитивные каменистые; 6 — торфяно-болотные низинные

Показатели длины и биомассы грибного мицелия в подзоле были несколько ниже, чем в подбуре, сухо-торфяной и торфяно-болотной почвах, но во всех типах достигали значительных величин (табл. 4). Длина мицелия грибов в примитивной каменистой почве была в сотни раз ниже, что вполне закономерно, так как гетеротрофная грибная биота весьма чувствительна к недостатку органического вещества.

При сравнении данных, полученных методами посева и прямого счета, существенная разница в результатах отмечена для торфяно-болотной почвы, в которой численность грибов, определенная методом посева, сопоставима с таковой в примитивных криогенных и каменистых почвах, а по методу прямого счета — с подзолами, подбурами и сухо-торфяной почвой. По-видимому, в торфяно-болотных почвах большое количество микроскопических грибов находится в форме некультивируемого мицелия.

Видовое разнообразие комплексов микроскопических грибов в изученных пробах было представлено 12 видами, относящимися к 7 семействам, 6 порядкам, 5 классам и 2 отделам (табл. 5). Наибольшее разнообразие микромицетов выявлено в органогенном горизонте подбуров, сухо-торфяных почв и подзолов (по 7–10 видов), наименьшее — для примитивных криогенных и каменистых и торфяно-болотных почв (по 3–4 вида). Граф на рисунке 2 свидетельствует о наибольшем сходстве видового состава комплексов грибов в сухо-торфяной почве и подзоле. Наиболее специфичны комплексы грибов примитивных каменистых почв в приморских местообитаниях, что, вероятно, связано с влиянием моря на свойства формирующихся здесь почв.

Таблица 5

## Видовое разнообразие комплексов микромицетов в почвах п-ова Рыбачий

Вид	Почва					
	подбур	сухо-торфяная	Al-Fe-гумусовый подзол	примитивная криогенная	примитивная каменная	торфяно-болотная
Отдел <i>Zygomycota</i> / Класс <i>Incertaesedis</i> / Порядок <i>Mortierellales</i> / Семейство <i>Mortierellaceae</i>						
<i>Mortierella stylospora</i> Dixon-Stew.	0,3/22	0,8/33	0,4/17	45/33	–	6/100
Порядок <i>Mucorales</i> / Семейство <i>Mucoraceae</i>						
<i>Mucor plumbeus</i> Bonord.	–	0,4/11	–	–	1,7/33	–
<i>M. hiemalis</i> Wehmer	0,1/11	0,1/11	–	–	0,5/33	0,8/33
Отдел <i>Ascomycota</i> / Класс <i>Eurotiomycetes</i> / Порядок <i>Eurotiales</i> / Семейство <i>Trichocomaceae</i>						
<i>Penicillium decumbens</i> Thom	37,2/100	71/100	49,2/100	27/100	–	91/100
<i>P. glabrum</i>	44/100	16/67	15,6/83	27/33	61//33	–
<i>P. raistrickii</i> Smith.	6,5/44	0,4/22	12,6/33	–	37/100	–
<i>P. spinulosum</i> Thom	0,1/11	9/22	0,7/17	–	–	–
<i>P. nigricans</i> K.M. Zaleski	0,6/11	–	–	–	–	–
Класс <i>Sordariomycetes</i> / Порядок <i>Hypocreales</i> / Семейство <i>Hypocreaceae</i>						
<i>Trichoderma polysporum</i> (Link.)	9,5/33	2/33	15,3/50	–	–	2,6/33
Семейство <i>Incertaesedis</i>						
<i>Gliomastix roseogrisea</i> (S.B. Saksena) Summerb.	–	–	0,4/33	–	–	–
Класс <i>Dothideomycetes</i> / Порядок <i>Dothideales</i> / Семейство <i>Dothioraceae</i>						
<i>Aureobasidium pullulans</i> (De Bary) Arnaud	0,5/11	–	–	–	–	–
Класс <i>Leotiomycetes</i> / Порядок <i>Helotiales</i> / Семейство <i>Sclerotiniaceae</i>						
<i>Trichosporium macrosporum</i> Kamyshko	0,1/11	–	–	–	–	–
Класс, порядок, семейство <i>Incertaesedis</i>						
<i>Sterilia mycelia</i>	0,3/11	–	–	–	–	–
Всего видов	11	8	7	3	4	4

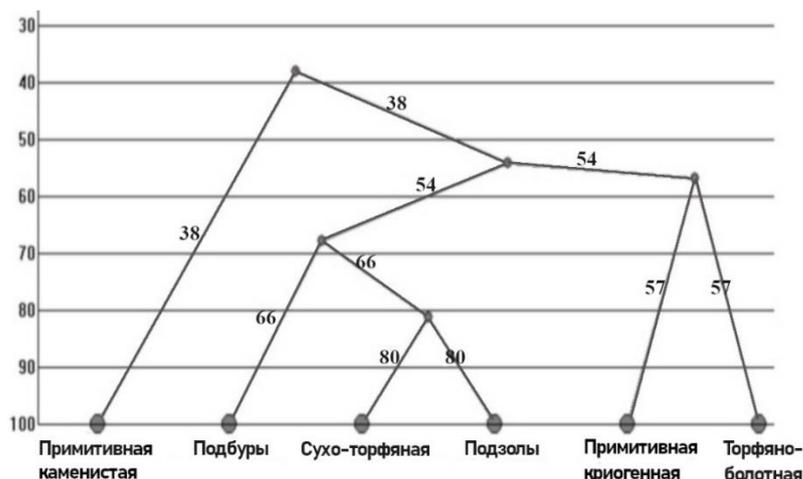


Рис. 2. Граф сходства видового состава комплексов микроскопических грибов в почвах п-ова Рыбачий

Вид *Penicillium decumbens* доминировал по обилию и частоте встречаемости в подбурах, сухо-торфяных, торфяно-болотных почвах и подзолах. Примитивные криогенные и каменные почвы отличались по структуре комплексов микромицетов. В примитивных каменных почвах по пространственной частоте встречаемости доминировал *P. raistrickii*, по обилию, как и в подбурах, — *P. glabrum*. В примитивных криогенных почвах по обилию доминировал *Mortierella stylospora*, по частоте встречаемости — *P. decumbens*. Все выделенные виды являются эвритопами и типичными для почв Кольского п-ова.

#### Микроводоросли и цианобактерии

В результате альгологического анализа в почвах п-ова Рыбачий было выявлено 80 видов водорослей и цианобактерий, принадлежащих к 5 отделам: Chlorophyta (31), Ochrophyta (25), Charophyta (5), Cryptophyta (1), Cyanobacteria (18). По возрастанию видового разнообразия почвы образуют следующий ряд: примитивная криогенная и примитивная каменная (по 6 видов) — Al-Fe-гумусовый подзол (13) — подбур (18) — сухо-торфяная (39) — торфяно-болотная низинная (53).

Наиболее сходны между собой цианобактериально-водорослевые ценозы в органогенном горизонте Al-Fe-гумусового подзола и подбура (рис. 3). В этих почвах обнаружен 21 вид водорослей. По видовому разнообразию преобладали зеленые водоросли классов Chlorophyceae и Trebouxiophyceae. Часто встречались виды *Borodinellopsis cf. oleifera* Schwarz, *Coccomyxa cf. confluens* (Kützing) Fott., *Elliptochloris bilobata* Tschermak-Woess, *Leptosira* sp., *Parietochloris* sp., *Pseudococcomyxa simplex* (Mainx) Fott, *Stichococcus bacillaris* Nägeli. Единственным представителем отдела охрофитовых водорослей оказался *Eustigmatos magnus* (J. B. Petersen) D. J. Hibberd. Желто-зеленые и диатомовые водоросли не были обнаружены. Из цианобактерий встречалась лишь *Aphanocapsa* sp.

В сухо-торфяной почве ведущая роль также принадлежала зеленым водорослям. Заметно большим разнообразием, чем в предыдущих типах почв, отличались цианобактерии (18 % от общего числа видов). Здесь выявлены диатомовые водоросли (26 %), в основном представители родов *Eunotia* и *Pinnularia*: *Eunotia praerupta* Ehrenberg, *E. cf. bilunaris* (Ehrenberg) Schaarschmid, *Pinnularia cf. borealis* Ehrenberg, *P. subcapitata* W. Gregory, *P. viridis* (Nitzsch) Ehrenberg, *P. cf. lata* (Brébisson) W. Smith.

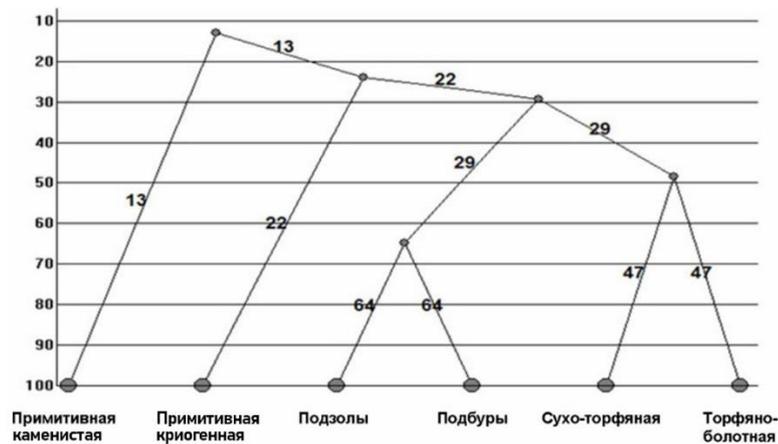


Рис. 3. Граф сходства видового состава цианобактериально-водорослевых ценозов в почвах п-ова Рыбачий

Самое высокое видовое разнообразие альгофлоры отмечено в органогенном горизонте торфяно-болотной почвы. Это объясняется длительным избыточным увлажнением, накоплением органического вещества и восстановительными процессами [Штина и др., 1998]. Представители трех основных групп — зеленые, диатомовые водоросли, цианобактерии — вносят сходный вклад в биоразнообразие, 25, 28, 30 % от общего числа видов соответственно. Список зеленых водорослей пополнен видами из класса Conjugatophyceae — *Cosmarium cf. impressulum* Elfving, *C. quadratum* Ralfs ex Ralfs, *Mougeotia* sp., характерными для сильно увлажненных и водных местообитаний. Во всех образцах торфяно-болотной почвы встречались цианобактерии *Microcoleus vaginatus* Gomont ex Gomont, *Geitlerinema cf. splendidum* (Greville ex Gomont) Anagnostidis, *Leptolyngbya* sp., *Pseudoanabaena* sp. Были обнаружены представители родов *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Nostoc*, *Anabaena*. Среди диатомовых водорослей встречались как мелкие формы, определение которых затруднено в живых смешанных культурах без изготовления специальных препаратов, так и достаточно крупные представители: *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow, *Pinnularia cf. divergens* W. Smith, *P. cf. brebissonii* (Kützing) Rabenhorst, *P. cf. macilenta* Ehrenberg, *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) Otto Müller, *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni. В торфяно-болотной почве обнаружены желто-зеленые водоросли: *Characiopsis* sp. и *Xanthonema cf. exile* (Klebs) P. C. Silva. Большое видовое разнообразие основных групп водорослей, присутствие десмидиевых и крупных диатомей — характерные черты альгофлоры болотных почв [Штина и др., 1998].

### Заключение

Результаты исследования сообществ бактерий, микроскопических грибов, микроводорослей и цианобактерий в органогенном горизонте почв п-ова Рыбачий дополнили наши представления о разнообразии микробных комплексов тундровых почв Мурманской области; сведения о структуре цианобактериально-водорослевого компонента сухо-торфяных и торфяно-болотных почв региона получены впервые.

Для тундровых подзолов и подбуров Рыбачьего характерна повышенная кислотность, как и для почв альфегумусового отдела в зональной тундре Кольского п-ова. Трансформация соединений азота в этих почвах идет по пути иммобилизации, о чем свидетельствует широкое (свыше 40 %) отношение C:N. В то же

время показатели общей численности и биомассы бактерий сравнимы с таковыми в зональной тундре, а длина и биомасса грибного мицелия в почвах Рыбачьего заметно выше. Комплексы микроскопических грибов отличаются низким видовым разнообразием и представлены родами, типичными для почв региона. Наряду с доминированием в структуре микокомплексов представителей рода *Penicillium*, были выявлены редкие для зональных почв грибы родов *Gliomastix*, *Trichosporium*. Наибольшее разнообразие грибов характерно для органогенных горизонтов подбуров, подзолов и сухо-торфяных почв; в них, как и в целом в тундровых почвах Кольского п-ова, преобладает вид *P. decumbens*. Примитивные почвы (криогенные и каменистые) отличались низкой численностью микромицетов и бедным видовым составом их комплексов.

Для органогенного горизонта почв альфегумусового отдела на п-ове Рыбачий подтверждена закономерность организации тундровых микрофототрофных сообществ — низкое разнообразие видов и преобладание зеленых водорослей. Наибольшее число видов основных групп микрофототрофов (зеленые и диатомовые водоросли, цианобактерии), а также представителей класса *Conjugatorphycyceae* было характерно для органогенных горизонтов гидроморфных торфяно-болотных почв.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИППЭС КНЦ РАН, тема «Динамика восстановления биоразнообразия и функций наземных экосистем Субарктики в условиях комбинированного действия природных и антропогенных факторов» (№ АААА-А18-118021490070-5).*

## Литература

Александрова В. Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 189 с.

Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли. М.: Наука, 1998. 348 с.

Андреева В. М. Почвенные неподвижные зеленые водоросли (Chlorophyta) Воркутинской тундры (Республика Коми) // Новости сист. низш. раст. 2004. Т. 37. С. 3–8.

Боровичёв Е. А., Денисов Д. Б., Корнейкова М. В., Исаева Л. Г., Разумовская А. В., Химич Ю. Р., Мелехин А. В., Косова А. Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды КНЦ РАН. Прикладная экология Севера. 2018. Вып. 6. С. 179–186.

Власенко О. А. Содержание и запасы углерода органического вещества в агроценозах многолетних трав Красноярской лесостепи // Проблемы современной аграрной науки. Красноярск: КГАУ, 2015. С. 6–9.

Гайсина Л. А., Фазлутдинова А. И., Кабиров Р. Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей: уч. пособ. Уфа: БГПУ, 2008. 152 с.

Гецен М. В., Стенина А. С., Патова Е. Н. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия. Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. 147 с.

Евдокимова Г. А. Оценка структурно-функционального состояния микробных систем почв тундровой и лесной зоны Кольского полуострова. Апатиты: Фонды ИППЭС, 1992. 48 с.

Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Микроорганизмы тундровых и лесных подзолов Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 184 с.

Егорова Л. Н. Почвенные грибы Дальнего Востока. Л.: Наука, 1986. 192 с.

Зенова Г. М., Кожевин П. А., Манучарова Н. А., Дуброва М. С., Звягинцев Д. Г. Температура как фактор формирования комплексов психротолерантных мицелиальных бактерий в почвах Северных регионов // Известия РАН. Серия биологическая. 2012. № 5. С. 493–500.

*Киридели И. Ю.* Почвенные микромицеты горных тундр (Полярный Урал и плато Путорана) // Микология и фитопатология, 2001. Т. 35, вып. 5. С. 48–53.

*Киридели И. Ю.* Микромицеты из почв и грунтов Северо-восточной Земли (архипелаг Шпицберген) // Микология и фитопатология, 2010. Т. 44, вып. 2. С. 116–125.

*Классификация почв России.* М.: Почв. ин-т им. Докучаева, 1997. 235 с.

*Корнейкова М. В.* Сравнительный анализ численности и структуры комплексов микроскопических грибов в почвах тундры и тайги Кольского Севера // Почвоведение. 2018. № 1. С. 86–92.

*Королева Н. Е., Переверзев В. И.* Зональные типы растительности и почв в тундрах Мурманской области // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2007. Т. 112, № 4. С. 23–30.

*Кухаренко О. С., Добровольская Т. Г., Головченко А. В., Степанов А. Л., Матвишак Г. В.* Структура гетеротрофного блока бактерий в тундровых почвах полуострова Ямал // Почвоведение. 2009. № 4 С. 463–468.

*Лаптева Е. М., Виноградова Ю. А., Чернов Т. И., Ковалева В. А., Перминова Е. М.* Структура и разнообразие почвенных микробных сообществ в бугристых болотах северо-запада Большеземельской тундры // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2017. № 4 (32). С. 5–14.

*Мельников В. П., Рогов В. В., Курчатова А. Н., Брушков А. В., Грива Г. И.* Распределение микроорганизмов в мерзлых грунтах // Криосфера Земли. 2011. Т. 15, № 4. С. 86–90.

*Мишустин Е. Н.* Закон зональности и учение о микробных ассоциациях почв // Успехи соврем. биологии. 1954. Т. 37. С. 1–27.

*Новаковский А. Б.* Возможности и принципы работы программного модуля GRAPHS. Сыктывкар: ИБ КомиНЦ УрОРАН, 2004. 28 с.

*Паринкина О. М.* Микрофлора тундровых почв. Л.: Наука, 1989. 159 с.

*Переверзев В. Н.* Генетические особенности и органическое вещество тундровых и горно-тундровых почв Северной Фенноскандии. Фонды ПАБСИ КНЦ РАН, 1998. 152 с.

*Переверзев В. Н.* Почвы тундр Северной Фенноскандии. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. 127 с.

*Перминова Г. Н.* Почвенные водоросли некоторых районов севера Евразии и Дальнего Востока. Киров. Деп. в ВИНТИ, № 4471-В-90. 1990. 41 с.

Практикум по агрохимии: уч. пособ.; 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. ак. РАСХН В. Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с.

*Прокушкин А. С., Гавриленко И. В., Прокушкин С. Г., Абаимов А. П.* Поступление растворенного органического углерода в почву лиственничников в условиях сплошной мерзлоты Средней Сибири // Лесоведение. 2005. № 5. С. 41–48.

*Рихтер Г. Д.* Орографические районы Кольского полуострова // Тр. Ин-та физ. географии АН СССР. 1936. Вып. 19. С. 5–48.

*Сдобникова Н. В.* Почвенные водоросли в южных тундрах Таймыра // Южные тундры Таймыра. Л.: Наука, Ленинградское отд-е, 1986. С. 68–79.

*Черепанов С. К.* Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 992 с.

*Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И.* Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

- Штина Э. А., Голлербах М. М.* Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 144 с.
- Штина Э. А., Зенова Г. М., Манучарова Н. А.* Альгологический мониторинг почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1449–1461.
- Alexander V. A.* Synthesis of the IBP Tundra biome circumpolar study of nitrogen fixation // Soil organisms and decomposition in tundra / Eds. A. J. Holding et al. Stockholm, 1974. P. 109–121.
- Boyd W. L., Staley J. T., Boyd J. W.* Ecology of soil microorganisms in Antarctica // Antarct. Res. Ser., 1966. No. 8. P. 125–159.
- Brown J., Miller P. C., Tieszen L. L., Bunnell F. L.* An Arctic ecosystem: the coastal tundra at Barrow, Alaska. Dowden, Hutchinson and Ross. Stroudsburg, Pennsylvania, U.S.A. 1980. 571 p.
- Bunnell F. L., Miller A. K., Flanagan P. W., Benoit R. F.* The microflora: composition, biomass and environmental relations // An Arctic ecosystem (The Coastal tundra at Barrow, Alaska) / Eds. J. Broun et al. / Stroudsburg, Pennsylvania, 1980. P. 255–290.
- Cameron R. E., Knox A. D., Morelli F. A.* The role of algae in tundra soils in vegetation and production ecology of an Alaskan Arctic tundra // Ecological Studies. Springer-Verlag, New York, 1978. Vol. 29. P. 207–227.
- Dolev M. B., Braslavsky I., Davies P. L.* Ice-binding proteins and their function // Annual review of biochemistry. 2016. Vol. 85. P. 515–42.
- Domsh K. H., Gams W., Anderson T. H.* Compendium of soil fungi. 2<sup>nd</sup> ed. IHW Verlag Ehing, 2007. 672 p.
- Ettl H., Gärtner G.* Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. 2, ergänzte Auflage. Springer Berlin Heidelberg, 2014. 773 p.
- Flanagan P., Scarborough A.* Physiological groups of decomposer fungi on tundra plant remains / Soil organisms and decomposition in tundra / Eds. A. J. Holding et al. Stockholm. 1974. P. 159–182.
- Guiry M. D., Guiry G. M.* Algae Base. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway, 2018. URL: <http://www.algaebase.org>
- Hoffmann L.* Algae of terrestrial habitats // Bot. Rev. 1989. Vol. 55. Is. 2. P. 77–105.
- Holding A. J.* The microflora of tundra / Tundra ecosystems: a comparative analysis / Eds. L. C. Bliss et al. 1981. P. 561–585.
- Index Fungorum. CABI checklist Database. URL: <http://www.indexfungorum.org> (accessed: 10.07.2019)
- Jensen H. L.* Notes on the microbiology of soil from Northern Greenland // Medd. Greenland, 1951. Vol. 142 (8). P. 23–29.
- Komárek J., Anagnostidis K.* Cyanoprokaryota, 1. Teil: Oscillatoriales. In: B. Büdel, G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schlager (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa 19/2. Elsevier, München. 2005. 759 p.
- Kótai J.* Instructions for preparation of modified nutrient solution Z8 for Algae. Norwegian Institute for Water Research. Blindern, Oslo, Norway. 1972. Vol. 11, no. 69. 5 p.
- Maggi O., Tosi S., Angelova M., Lagostina E., Fabbri A. A., Pecoraro L., Altobelli E., Picco A. M., Savino E., Branda E., Turchetti B.* Adaptation of fungi, including yeasts, to cold environments // Plant Biosystems — An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology. 2013. Vol. 147, no. 1. P. 247–58.

*Mannisto M. K., Haggbloma M. M.* Characterization of sychrotolerant heterotrophic bacteria from Finnish Lapland // *Systematic and Applied Microbiology*, 2006. 29. P. 229–243.

*Oleksowicz A. S., Luścińska M.* Occurrence of algae on tundra soils in Oscar II Land, Spitsbergen // *Polish Polar Research*. 1992. Vol. 13, no. 2. P. 131–147.

*Olsen R. A., Hovland J.* Fungal flora and activity in Norway spruce needle litter. Report. Department of Microbiology, Agricultural University of Norway. 1985. 41 p.

*Raper B., Thom C.* A Manual of the Penicillia. New York; London: Hafner Publishing Co. 1949. 875 p.

*Seifert K., Morgan-Jones G., Gams W., Kendrick B.* The genera of Hyphomycetes. Utrecht: CBS; Spain: Reus. 2011. 997 p.

*Syzova M. V., Panikov N. S.* Biomass and composition of microbial communities in soils of Northern Russia / *Global change and Arctic Terrestrial ecosystems: an internal. conf. Oppdal, Norway*. 1993. P. 154.

#### *Сведения об авторах*

##### **Корнейкова Мария Владимировна**

кандидат биологических наук, заведующая лабораторией экологии микроорганизмов Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, korneykova.maria@mail.ru

##### **Редькина Вера Вячеславовна**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, kalmykova\_v\_v@mail.ru

##### **Мязин Владимир Александрович**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, myazin\_v@mail.ru

##### **Фокина Надежда Викторовна**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, nadezdavf@yandex.ru

##### **Шалыгина Регина Ринатовна**

кандидат биологических наук, научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, regina\_rinat@mail.ru

##### **Korneykova Maria Vladimirovna**

PhD (Biology), Head of Microorganisms Ecology Laboratory of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, korneykova.maria@mail.ru

##### **Myazin Vladimir Aleksandrovich**

PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, myazin\_v@mail.ru

##### **Red`kina Vera Vyacheslavovna**

PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, kalmykova\_v\_v@mail.ru

##### **Fokina Nadezhda Viktorovna**

PhD (Engineering), Senior Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, nadezdavf@yandex.ru

##### **Shalygyna Regina Rinatovna**

PhD (Biology), Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, regina\_rinat@mail.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.123-127  
УДК 502.5 (470.21)

**Е. А. Боровичёв<sup>1</sup>, М. А. Бойчук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН

<sup>2</sup> Институт биологии ФИЦ КарНЦ РАН

## **ДОПОЛНЕНИЯ К ФЛОРЕ МОХООБРАЗНЫХ ЗАПОВЕДНИКА «ПАСВИК» (ПЕЧЕНГСКИЙ РАЙОН, МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

### **Аннотация**

По результатам полевых работ 2018 г. выявлены 11 новых для заповедника «Пасвик» видов мохообразных: 6 печеночников (*Jungermannia eucordifolia*, *Fuscocephaloziaopsis connivens*, *Marchantia polymorpha* L. subsp. *polymorpha*, *Marsupella aquatica*, *Pellia epiphylla*, *Scapania parvifolia*) и 5 мхов (*Platydictya jungermannioides*, *Pohlia crudoides*, *P. filum*, *Rhodobryum roseum*, *Splachnum ampullaceum*). 2 вида (*Fuscocephaloziaopsis connivens*, *Pohlia crudoides*) внесены в Приложение к Красной книге Мурманской области (2014) как нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде Мурманской области («бионадзор»). Флора мохообразных заповедника, с учетом выявленных видов, насчитывает 322 вида, из них 120 — печеночники и 202 — мхи.

### **Ключевые слова:**

печеночники, мхи, редкие виды, новые находки, заповедник «Пасвик».

**E. A. Borovichev, M. A. Boychuk**

<sup>1</sup> Institute of North Industrial Ecology Problems of the KSC of RAS

<sup>2</sup> Institute of Biology of the Karelian Research Centre of RAS

## **ADDITIONS TO THE FLORA OF BRYOPHYTE OF THE PASVIK RESERVE (PECHENGA DISTRICT, THE MURMANSK REGION, RUSSIA)**

### **Abstract**

During the field work in 2018, 11 species of bryophytes new to the Pasvik State Nature Reserve were found: 6 liverworts (*Jungermannia eucordifolia*, *Fuscocephaloziaopsis connivens*, *Marchantia polymorpha* L. subsp. *polymorpha*, *Marsupella aquatica*, *Pellia epiphylla*, *Scapania parvifolia*) and 5 mosses (*Platydictya jungermannioides*, *Pohlia crudoides*, *P. filum*, *Rhodobryum roseum*, *Splachnum ampullaceum*). 2 species (*Fuscocephaloziaopsis connivens*, *Pohlia crudoides*) are listed in the Appendix to the Red Data Book of the Murmansk Region (2014), as requiring a special monitoring in the natural environment of the Murmansk Region (the so-called biomonitoring status). Given the newly discovered species, the bryophyte flora of the Pasvik State Nature Reserve is now made up of 322 species (120 liverworts and 202 mosses).

### **Keywords:**

liverworts, mosses, rare species, new records, Pasvik State Nature Reserve.

### **Введение**

В 2011–2017 гг. авторы статьи проводили целенаправленные работы по изучению видового разнообразия мохообразных заповедника «Пасвик». В 2018 г. все имеющиеся материалы (авторские, гербарные, литературные) были обобщены в монографии «Мохообразные заповедника «Пасвик» [Боровичёв, Бойчук, 2018]. На небольшой территории (0,1 % от площади Мурманской области) выявлено 114 видов печеночников (55 % от гепатикофлоры области) и 197 мхов (41 % от бриофлоры области). Высокое видовое богатство связано с представленностью в заповеднике почти всех основных типов местообитаний, характерных для области (за исключением приморских, высокогорных и формации еловых лесов), и хорошей степенью изученности. Два вида мхов (*Tayloria serrata*, *Stereodon pallescens*) в Мурманской области известны только с территории заповедника.

Флористические исследования имеют начало, но не имеют конца. В ходе полевых исследований 2018 г. на территории заповедника «Пасвик» были выявлены новые виды мхов и печеночников. Цель настоящей статьи — обнародовать новые находки мохообразных.

### Материалы и методы

Исследования проведены в центральной и северной частях заповедника «Пасвик» (рис. 1). Собрано около 100 образцов мохообразных. Печеночники определены Е. А. Боровичёвым, мхи — М. А. Бойчук. Аннотированный список новых видов мохообразных приведен ниже. Названия видов печеночников даны в основном по мировому списку печеночников [Söderström et al., 2016], мхов — по «Списку мхов Восточной Европы и Северной Азии» [Ignatov et al., 2006]. После латинского названия вида указаны синонимы, русское название, номер местонахождения, согласно рисунку 1, точное местонахождение с координатами, местообитание с указанием субстрата, дата сбора, сокращение фамилии коллектора (Е. А. Боровичёв — Е. Б.) и номер гербарного образца. Отмечено присутствие сопутствующих видов печеночников, наличие в образцах репродуктивных структур (антеридии, периантии, выводковые почки, спорогонии). Виды, внесенные в Красную книгу Мурманской области (2014), обозначены как «ККМО (2014)», включенные в Красную книгу мохообразных Европы (Red Data Book of European Bryophytes, 1995), — как «RDBEB» с указанием охранного статуса.

Образцы мохообразных хранятся в Гербарии Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН (INER), внесены в информационную систему Cryptogamic Russian Information System (Melekhin et al., 2019, <http://krabg.ru/cris/?q=node/16>). Дубликаты образцов мхов переданы в Гербарий Института биологии КарНЦ РАН (PTZ).

### Результаты

В результате проведенных работ список известных для заповедника мохообразных пополнился на 11 видов (6 печеночников и 5 мхов). Большая часть из них не являются редкими в Мурманской области, особенно в горах региона, их нахождение не стало неожиданностью: *Jungermannia eucordifolia*, *Marsupella aquatica*, *Pellia epiphylla*, *Scapania parvifolia*, *Platydictya jungermannioides*, *Pohlia filum*, *Rhodobryum roseum*, *Splachnum ampullaceum*. Реже встречается околородный подвид *Marchantia polymorpha*. Два вида — *Fuscocephalozia connivens* и *Pohlia crudoides* — можно отнести к более редким. Они внесены в приложение к ККМО [2014] как нуждающиеся в особом внимании к их состоянию в природной среде Мурманской области («бионадзор»).

### Печеночники

*Fuscocephalozia connivens* (Dicks.) Váňa et L. Söderstr. [= *Cephalozia connivens* (Dicks.) Lindb.] — Фускоцефолозиопсис сходящийся. **1**: центральная часть заповедника «Пасвик», западный берег оз. Каскамаярви, 69°16'36,8" с. ш., 29°25'13,4" в. д., осоково-гипновое болото с высокими сфагновыми кочками, на отмирающих сфагновых мхах между кочками, с антеридиями и периантиями, 27.VII.2018, Е. Б., 212-6-18 (INER 500402); там же, окрайка заболоченного сосняка, в понижениях между сфагновыми кочками, на торфе, с периантиями, 27.VII.2018, Е. Б., 212-1-18 (INER 500403). ККМО [2014]: вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде Мурманской области («бионадзор»).

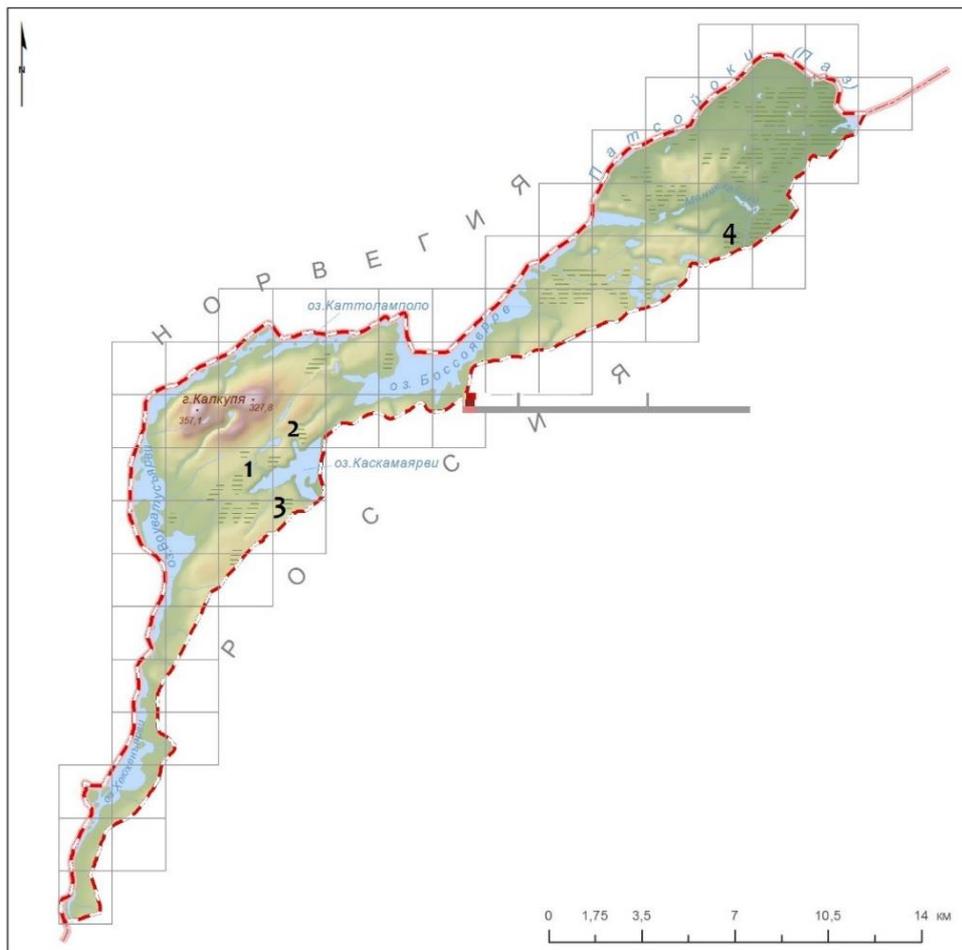


Рис. 1. Места сбора мохообразных на территории заповедника «Пасвик». Номера 1–4 соответствуют местам сбора образцов

*Jungermannia eucordifolia* Schljakov — Юнгерманния сердцевиднолистная.

**2:** центральная часть заповедника «Пасвик», восточный отрог г. Калкуля около Квадратного залива оз. Каскамаярви, 69°16'58,2" с. ш., 29°25'27" в. д., 110 м н.у.м., ручей, на камнях, лежащих в воде, чистые дерновины, 25.VII.2018, Е. Б., 209-7-18, 209-8-18 (INEP 500404, 500405).

*Marchantia polymorpha* L. subsp. *polymorpha* [= *Marchantia aquatica* (Nees)

Burgeff] — Маршанция многообразная подвид многообразная. **4:** северная часть заповедника «Пасвик», долина р. Мениккайоки, березняк на левом берегу напротив острова, 69°22'23,1" с. ш., 29°51'24,5" в. д., 40 м н. ур. м., на регулярно затопляемом берегу, между осоковых кочек, в плотных коврах, 26.VII.2018, Е. Б., 211-4-18 (INEP 500406).

*Marsupella aquatica* (Lindenb.) Schiffn. — Марсупелла водная. **2:** центральная

часть заповедника «Пасвик», восточный отрог г. Калкуля около Квадратного залива оз. Каскамаярви, 69°16'58,2" с. ш., 29°25'27" в. д., 110 м н. ур. м., ручей, на камнях, лежащих в воде, чистые дерновины, 25.VII.2018, Е. Б., 209-13-18, 209-15-18 (INEP 500407, 500408).

*Pellia epiphylla* (L.) Corda — Пеллия налистная. **3:** центральная часть заповедника «Пасвик», ручей, текущий через заболоченный сосняк, 69°16'35,3" с. ш., 29°23'25,3" в. д., 95 м н. ур. м., на бревнах и досках возле ручья, в коврах с примесью *Chiloscyphus polyanthos* (L.) Corda, с антеридиями, периянтциями и спорогонами, 24.VII.2018, Е. Б., 204-7-18 (INER 500409).

*Scapania parvifolia* Warnst. — Скапания мелколистная. **3:** центральная часть заповедника «Пасвик», сосняк кустарничковый с единичными старыми деревьями ив, 500 м по тропе от линии инженерно-технических сооружений (ИТС), 69°15'46" с. ш., 29°25'17" в. д., 85 м н. ур. м., обочина тропы на берегу ручейка, в дерновинах с примесью *Cephalozia bicuspidata* (L.) Dumort., 24.VII.2018, Е. Б., 206-3-18 (INER 500411). Критический таксон, некоторыми авторами рассматривается как *S. scandica* [Шляков, 1981; Потёмкин, 1993], в Мурманской области встречается спорадически. RDBEB: T (taxa apparently threatened but presenting taxonomic problems).

## Мхи

*Platydictya jungermannioides* (Brid.) Crum — Платидиктия юнгерманноидная. **2:** центральная часть заповедника «Пасвик», восточный отрог г. Калкупя около Квадратного залива оз. Каскамаярви, 69°16'58,2" с. ш., 29°25'27" в. д., 110 м н. ур. м., берег ручья, на камнях, 25.VII.2018, Е. Б., 209-6-18 (INER, PTZ 13754).

*Pohlia crudoides* (Sull. et Lesq.) Broth. — Полия свежееобразная. **3:** центральная часть заповедника «Пасвик», 100 м по тропе от линии ИТС, 69°15'46" с. ш., 29°25'17" в. д., 80 м н. ур. м., сосняк кустарничковый, обочина тропы на берегу ручейка, 24.VII.2018, Е. Б., 206-4-18 (INER, PTZ 13755).

*Pohlia filum* (Schimp.) Mårtensson — Полия нитевидная. **3:** центральная часть заповедника «Пасвик», 100 м по тропе от линии ИТС, 69°15'46" с. ш., 29°25'17" в. д., 80 м н. ур. м., сосняк кустарничковый, обочина тропы на берегу ручейка, голая глинистая почва, с выводковыми почками, 24.VII.2018, Е. Б., 206-9-18 (INER, PTZ 13756).

*Rhodobryum roseum* (Hedw.) Limpr. — Родобриум розетковидный. **4:** северная часть заповедника «Пасвик», долина р. Мениккайоки, березняк на левом берегу напротив острова, 69°22'23,1" с. ш., 29°51'24,5" в. д., 40 м н. ур. м., хвощево-папоротниковый березняк, на почве, 26.VII.2018, Е. Б., 211-2-18 (INER, PTZ 13757).

*Splachnum ampullaceum* Hedw. — Сплахнум бутылковидный. **1:** центральная часть заповедника «Пасвик», западный берег оз. Каскамаярви, 69°16'36,8" с. ш., 29°25'13,4" в. д., осоково-гипновое болото с высокими сфагновыми кочками, между кочек на отмирающих сфагновых мхах и органических остатках, со спорогонами, 27.VII.2018, Е. Б., 212-6-18 (INER, PTZ 13758). Определен О. А. Белкиной (ПАБСИ КНЦ РАН).

Флора мохообразных заповедника «Пасвик», по последним данным, насчитывает 322 вида, из них 120 — печеночники и 202 — мхи.

Благодарим О. А. Белкину (ПАБСИ КНЦ РАН) за определение *Splachnum ampullaceum* и О. В. Петрову (ИППЭС КНЦ РАН) за подготовку карты-схемы заповедника. Работа выполнена в рамках государственных заданий ИППЭС КНЦ РАН (№ АААА-А18-118021490070-5) и Института биологии КарНЦ РАН (№ АААА-А17-117031710038-6).

## Литература

- Боровичёв Е. А., Бойчук М. А. Мохообразные заповедника «Пасвик». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 145 с.
- Красная книга Мурманской области. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 с.
- Потёмкин А. Д. О внутривидовой таксономии, размножении и синонимике *Scapania scandica* (Н. Arnell et Buch) Masv. по ямальским материалам // Новости сист. низш раст. 1993. Т. 29. С. 153–157.
- Шляков Р. Н. Печеночные мхи Севера СССР, вып. 4. Печеночники: Юнгерманниевые Скапаниевые. Л.: Наука, 1981. 221 с.
- Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. Vol. 15. P. 1–130.
- Melekhin A. V., Davydov D. A., Borovichev E. A., Shalygin S. S., Konstantinova N. A. CRIS — service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams // Folia Cryptogamica Estonica. 2019. Vol. 56. P. 99–108.
- Red Data Book of European Bryophytes 1995. Trondheim, 290 p.
- Söderström L., Hagborg A., von Konrat M. et al. World checklist of hornworts and liverworts // PhytoKeys. 2016. Vol. 59. P. 1–828.

## Сведения об авторах

### Боровичёв Евгений Александрович

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, Апатиты, borovichyok@mail.ru

### Бойчук Маргарита Арсеньевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск, boychuk@krc.karelia.ru

### Borovichev Eugene Alexandrovich

PhD (Biology), Leading Researcher of Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Center of RAS, Apatity, borovichyok@mail.ru

### Boychuk Margarita Arsen`evna

PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of Biology of the Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodzk, boychuk@krc.karelia.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.127-136

УДК 582.32 (1-751.1) (470.21)

### М. А. Бойчук<sup>1</sup>, Н. В. Поликарпова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии ФИЦ КарНЦ РАН

<sup>2</sup> Государственный природный заповедник «Пасвик»

## МХИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПЛАНИРУЕМОГО ЗАКАЗНИКА «ВОРЬЕМА» (МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

### Аннотация

В результате обработки собственных сборов 2014 г. составлен первый аннотированный список мхов планируемого комплексного заказника федерального значения «Ворьема», насчитывающий 112 видов. Большинство видов являются широко распространенными в Мурманской области. Обнаружены виды (*Brachythecium turgidum*, *Bryum salinum*, *Dicranella grevilleana*, *Pohlia andrewsii*, *Rhytidiadelphus subpinnatus*, *Sanionia orthothecioides*, *Schistidium maritimum*), спорадически встречающиеся в регионе.

### Ключевые слова:

мхи, Ворьема, Мурманская область.

M. A. Boychuk, N. V. Polikarpova

## MOSES OF THE WESTERN PART OF THE PLANNED NATURE RESERVE "VOR'EMA" (THE MURMANSK REGION, RUSSIA)

### Abstract

The first list of mosses (112 species) based on samples collected by the authors in 2014 was compiled. Most species are widespread in the Murmansk Region. Some sporadically occurring species (*Brachythecium turgidum*, *Bryum salinum*, *Dicranella grevilleana*, *Pohlia andrewsii*, *Rhytidiadelphus subpinnatus*, *Sanionia orthothecioides*, *Schistidium maritimum*) were found.

### Keywords:

mosses, Vor'ema, the Murmansk Region.

### Введение

Идея создания особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Долина реки Ворьемы» на крайнем северо-западе России (Печенгский район, Мурманская область) впервые была предложена в 2009 г. сотрудниками заповедника «Пасвик» и нашла поддержку в Баренцевоморском отделении Всемирного фонда природы (WWF). Первоначальная площадь ООПТ составляла 1315 га. В 2014 г. было проведено комплексное экологическое обследование территории и разработаны предложения для Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации по созданию федерального комплексного заказника с уточненным названием «Ворьема» на площади 29 848 тыс. га (материковая часть — 11 716 тыс. га, морская акватория — 18 132 тыс. га). Планируемый заказник включает правобережную долину р. Ворьемы в ее нижнем течении, участок тундр и побережья Баренцева моря на восток до бухты Долгая щель, акваторию Баренцева моря. Территория примыкает к линии государственной границы между Россией и Норвегией (рис. 1).

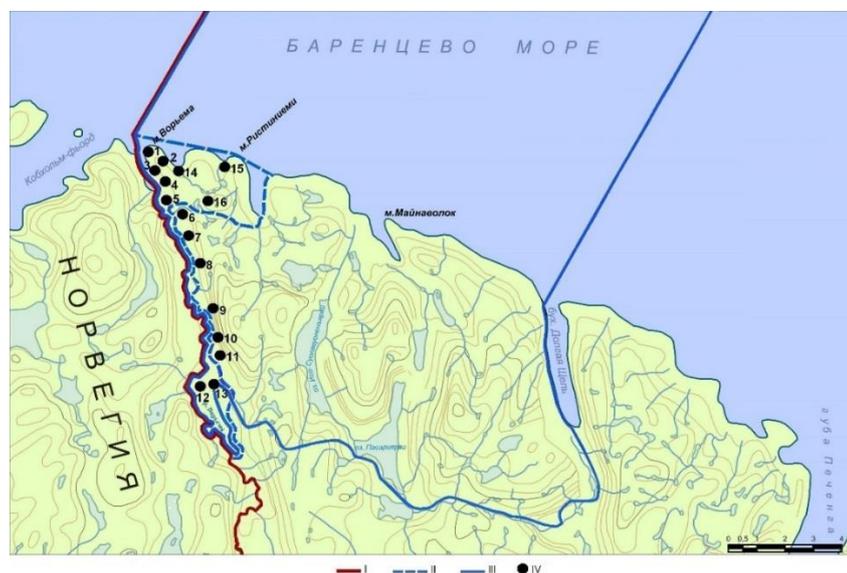


Рис. 1. Картосхема планируемого заказника федерального значения «Ворьема»: I — российско-норвежская граница; II — первоначальная граница заказника; III — граница заказника; IV — места сборов мхов

На территории планируемого заказника представлены докембрийские (верхнеархейские) кристаллические породы, которые местами выходят на дневную поверхность. Преобладают кианито-гранато-биотитовые и амфиболовые гнейсы, амфиболиты [Атлас..., 1971]. Рельеф территории денудационный — абразионные цокольные равнины (до 50 м), цокольные сильно расчлененные равнины (до 150–300 м). Имеются возвышенности (более 400 м). Почвообразующие породы в основном щебнистые и галечниковые. Суровый арктический климат смягчается теплым Нордкапским течением (продолжением Гольфстрима). Территория характеризуется развитой гидрографической сетью (см. рис. 1). По р. Воряема проходит российско-норвежская граница.

По геоботаническому районированию [Геоботаническое..., 1989; Елина и др., 2000] территория заказника относится к тундровой зоне и входит в состав Северного приморского тундрового округа Кольской тундровой подпровинции Европейско-Западно-Сибирской провинции. Здесь господствуют вороничные тундры. Обычны березняки (деренные, травяные и др.). Вдоль водотоков встречаются сероольшаники и ивняки. Среди болот отмечены все типы (верховые, переходные, низинные). Побережье Баренцева моря в основном скалистое. В глубоких морских заливах выше литорали сформировались приморские луга. Антропогенное воздействие незначительно (инженерно-технические сооружения (ИТС), грунтовые дороги и др.).

Заказник «Воряема» планируется создать с целью сохранения ненарушенных в силу строгого пограничного режима экосистем (долинные березовые леса, горные и прибрежные тундры, приморские луга и др.), культурно-исторических объектов (Екатерининский копец — погранзнак 1826 г. и др.) и развития экологического туризма. Наибольшую угрозу природным комплексам представляет возможный разлив нефти при транспортировке морским путем через порты, расположенные вблизи российско-норвежской границы, а также при дальнейшей разработке нефтеносных скважин в Баренцевом море. Заказник «Воряема» станет важным природоохранным «перекрестком» в северной части Зеленого пояса Фенноскандии [Боровичёв и др., 2018].

В Печенгском районе Мурманской области бриофлористические исследования велись в заповеднике «Пасвик» [Boychuk, Borovichev, 2018; Боровичёв, Бойчук, 2018], природном парке «Кораблекк» [Боровичёв, Бойчук, 2018], на Айновых островах Кандалакшского заповедника [Kozhin et al., 2016] и других территориях [Roivanen, 1929; Näygen, 1955]. Информация о мхах крайнего северо-западного участка российской территории отсутствует [Шляков, Константинова, 1982; Константинова и др., 1993; Разнообразие..., 2009]. В данной работе приводятся первые результаты изучения мхов планируемого заказника «Воряема».

### **Материал и методика**

17–20 июля и 7–9 августа 2014 г. на территории планируемого заказника «Воряема» (в первоначальных границах) под руководством Н. В. Поликарповой проводилось ботаническое обследование. Сборы мхов (376 образцов) и их определения выполнены М. А. Бойчук. В аннотированном списке после названия вида (по: Ignatov et al., 2006; Игнатов и др., 2017) приводятся пункты сбора (табл. 1), местообитания с указанием субстрата, наличие спорогонов и органов вегетативного размножения. Для видов, спорадически встречающихся в Мурманской области, дополнительно указываются точное местонахождение (географические координаты), дата сбора и номер гербарного образца. Образцы мхов хранятся в гербариях Карельского НЦ РАН (РТЗ) и Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н. А. Аврорина Кольского НЦ РАН (КРАВГ).

## Пункты сборов мхов

Пункт сбора	Координаты		Местонахождение
	широта	долгота	
1	69°47.167'	30°49.571'	Мыс Ворьема
2	69°47.126'	30°49.848'	
3	69°47.064'	30°49.827'	
4	69°46.797'	30°51.197'	Долина р. Ворьемы в нижнем течении
5	69°46.486'	30°51.033'	
6	69°46.342'	30°51.497'	
7	69°45.614'	30°52.202'	
8	69°45.366'	30°52.491'	
9	69°44.305'	30°52.751'	
10	69°43.802'	30°53.784'	
11	69°43.418'	30°53.813'	
12	69°42.843'	30°53.327'	
13	69°42.832'	30°54.090'	
14	69°46.943'	69°51.900'	Побережье Баренцева моря
15	69°47.087'	30°53.629'	
16	69°46.475'	30°52.423'	Участок между озерами

**Результаты**

На основании обработки собранного материала составлен первый аннотированный список мхов планируемого заказника «Ворьема».

*Amblystegium serpens* (Hedw.) Bruch et al. — **15**: приморский луг, на почве между камнями.

*Amphidium lapponicum* (Hedw.) Schimp. — **13**: горная тундра, на выходах коренных пород.

*Amphidium mougeotii* (Bruch et al.) Schimp. — **7, 13**: горная тундра, на выходах коренных пород.

*Andreaea rupestris* Hedw. — **7, 12–14, 16**: горная тундра, на валунах и выходах коренных пород.

*Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr. — **1–3, 5, 6, 8, 13, 15**: верховые болота (кочки), берега р. Ворьемы и озерков, на сырой почве.

*Blindia acuta* (Hedw.) Bruch et al. — **10**: ручьи, на сырых валунах.

*Brachythecium mildeanum* (Schimp.) Schimp. — **6**: березняк приручейный, на комле ольхи.

*Brachythecium salebrosum* (F. Weber & D. Mohr) Bruch et al. — **11, 13**: березняк и ольшаник травяные, на почве и валунах (с почвой).

*Brachythecium turgidum* (Hartm.) Kindb. — **6**: долина р. Ворьемы, 69°46.282' с. ш., 30°52.403' в. д., березняк травяной, на почве, 18.VII.2014, PTZ–11787.

*Bryum pseudotriquetrum* (Hedw.) P. Gaertn., V. Mey. & Scherb. — **1, 3, 5, 8**: берега р. Ворьемы и озерков, ключи, на почве.

*Bryum salinum* I. Hagen ex Limpr. — **3**: берег р. Ворьемы (у устья), 69°47.064' с. ш., 30°49.827' в. д., на сырых выходах коренных пород (с почвой), 9.VIII.2014, PTZ–11983; **15**: побережье Баренцева моря, 69°47.087' с. ш., 30°53.629' в. д., приморский луг, на сырой почве, 8.VIII.2014, PTZ–11981, PTZ–11982. Со спорогонами.

*Bryum weigelii* Spreng. — 11: березняк осоково-травяной приручейный, на сырой почве.

*Bucklandiella microcarpa* (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra — 2, 16: горная тундра, на валунах и выходах коренных пород.

*Bucklandiella sudetica* (Funck) Bednarek-Ochyra & Ochyra — 8: канава, на почве.

*Calliergon cordifolium* (Hedw.) Kindb. — 5, 8: берега озерков и ручьев, на сырой почве.

*Calliergonella lindbergii* (Mitt.) Hedenäs — 5, 10: берега озерков и ручьев; на сырых субстратах: почве, валунах, гниющей древесине.

*Campylium protensum* (Brid.) Kindb. — 6, 8: ручьи, на сырых почве и валунах.

*Campylium stellatum* (Hedw.) С. Е. О. Jensen — 8: родник, на почве.

*Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. — 1–3: горная тундра, на выходах коренных пород.

*Cinclidium stygium* Sw. — 16: берег озера, на сырой почве.

*Cirriphyllum piliferum* (Hedw.) Grout — 9: березняк папоротниковый, на почве.

*Climacium dendroides* (Hedw.) F. Weber & D. Mohr — 5: берег озера, на комле березы.

*Conostomum tetragonum* (Hedw.) Lindb. — 13, 16: горная тундра, на выходах коренных пород. Со спорогонами.

*Dichodontium palustre* (Dicks.) M. Stech — 8, 10, 16: ключи, на почве.

*Dichodontium pellucidum* (Hedw.) Schimp. — 6: березняк травяной, на выходах коренных пород.

*Dicranella cerviculata* (Hedw.) Schimp. — 6: обочина грунтовой дороги, на почве. Со спорогонами.

*Dicranella grevilleana* (Brid.) Schimp. — 10: долина р. Ворьемы, 69°44.075' с. ш., 30°53.517' в. д., обочина грунтовой дороги, на сырой почве, 7.VIII.2014, PTZ–11986, PTZ–11987. Со спорогонами.

*Dicranella subulata* (Hedw.) Schimp. — 6: обочина грунтовой дороги, на мелкоземме между гравием.

*Dicranum elongatum* Schleich. ex Schwägr. — 7: березняк деренный, на выходах коренных пород; 16: заболоченный берег озера, на кустарничково-сфагновой кочке.

*Dicranum flexicaule* Brid. — 7, 8, 16: горная тундра, березняки чернично-деренный и папоротниково-деренный, на валунах и выходах коренных пород.

*Dicranum fuscescens* Turner — 6, 7, 11: березняки травяные; на почве, комлях березы, выходах коренных пород.

*Dicranum majus* Turner — 4, 5, 7, 13, 16: березняки травяные, на почве.

*Dicranum montanum* Hedw. — 1, 7, 16: горная тундра, березняки деренный и травяной, на выходах коренных пород (с почвой), комлях березы. Со спорогонами.

*Dicranum scoparium* Hedw. — 6, 16: березняки чернично-деренный, деренно-папоротниковый, травяной, на почве. Со спорогонами.

*Dilutineuron fasciculare* (Hedw.) Bedn. — Ochyra Sawicki, Ochyra, Szezecińska et Plášek — 2, 7, 8, 10, 13: горная тундра, на выходах коренных пород.

*Distichium capillaceum* (Hedw.) Bruch et al. — 7, 13: горная тундра, на выходах коренных пород (в расщелинах). Со спорогонами.

*Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst. — 15: приморский луг, на почве.

*Drepanocladus polygamus* (Bruch et al.) Hedenäs — 3: берег р. Ворьемы, на сырых выходах коренных пород.

- Fissidens osmundoides* Hedw. — **13**: гора за линией ИТС, на сырых выходах коренных пород (в расщелине).
- Flexitrichum flexicaule* (Schwägr.) Ignatov et Fedosov — **13**: гора за линией ИТС, на выходах коренных пород.
- Grimmia longirostris* Hook. — **16**: горная тундра, на выходах коренных пород. Со спорогонами.
- Grimmia torquata* Drumm. — **13**: гора за линией ИТС, на выходах коренных пород.
- Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch. et al. — **6, 16**: березняки травяные, на почве, комлях березы.
- Hymenoloma crispulum* (Hedw.) Ochyra — **7, 13**: березняки деренные, на выходах коренных пород. Со спорогонами.
- Kiaeria blyttii* (Bruch et al.) Broth. — **2**: горная тундра, на выходах коренных пород.
- Kiaeria glacialis* (Berggr.) I. Hagen — **12, 13, 16**: горная тундра, березняки деренные и травяные, на валунах и выходах коренных пород.
- Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wilson — **14, 15**: на выходах коренных пород (в расщелине), приморский луг, на почве. Со спорогонами.
- Loeskynum badium* (Hartm.) H. K. G. Paul — **12**: гора за линией ИТС, на сырых выходах коренных пород (у ключа).
- Meesia uliginosa* Hedw. — **13**: гора за линией ИТС, на сырых выходах коренных пород (у ключа).
- Mnium lycopodioides* Schwägr. — **10**: ручей, на камне.
- Niphotrichum canescens* (Hedw.) Bednarek-Ochyra & Ochyra — **8, 9**: берег реки, на песке.
- Ochyraea alpestris* (Hedw.) Ignatov & Ignatova — **6, 10**: ручьи, на сырых камнях.
- Oligotrichum hercynicum* (Hedw.) Lam. & DC. — **10**: зарастающий карьер, на почве.
- Oncophorus wahlenbergii* Brid. — **2, 7, 13, 16**: горная тундра, на сырых выходах коренных пород. Со спорогонами.
- Paludella squarrosa* (Hedw.) Brid. — **7, 16**: низинные болота, ключи.
- Philonotis caespitosa* Jur. — **3, 7, 12**: берег реки, березняки травяные, на сырых почве и выходах коренных пород.
- Philonotis fontana* (Hedw.) Brid. — **3, 6**: ручьи, ключи, на сырой почве. Со спорогонами.
- Plagiothecium cavifolium* (Brid.) Z. Iwats. — **7**: долина р. Ворьемы, на выходах коренных пород (в расщелине).
- Plagiothecium denticulatum* (Hedw.) Bruch et al. — **7, 8**: березняки деренно-травяной и травяной, на гниющей древесине, комлях березы.
- Plagiothecium laetum* Bruch et al. — **6, 8**: березняки деренный и травяной, на выходах коренных пород (с почвой), комлях березы.
- Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. — **6, 8, 13**: березняки чернично-деренный и травяной, на почве, комлях березы; верхнее болото (кочки).
- Pogonatum urnigerum* (Hedw.) P. Beauv. — **6, 8, 9**: обочины грунтовых дорог, на почве. Со спорогонами.
- Pohlia andrewsii* A. J. Shaw — **13**: гора за линией ИТС, 69°42.832' с. ш., 30°54.090' в. д., на сырых выходах коренных пород, 7.VIII.2014, PTZ-14303. С выводковыми почками.

*Pohlia cruda* (Hedw.) Lindb. — **6, 13, 16**: горная тундра, на выходах коренных пород (в тенистых расщелинах).

*Pohlia filum* (Schimp.) Mårtensson — **8**: берег ручья, обочина грунтовой дороги, на глине и песке. С выводковыми почками.

*Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb. — **11, 16**: березняки (деренный, травяной), на гниющей древесине, выходах коренных пород. Со спорогонами.

*Pohlia prolifera* (Kindb.) Lindb. ex Broth. — **13**: гора за линией ИТС, на сырых выходах коренных пород. С выводковыми почками.

*Pohlia wahlenbergii* (F. Weber & D. Mohr) A. L. Andrews — **2, 6, 10, 11**: ручьи, ключи, сырые канавы; на почве.

*Polytrichastrum alpinum* (Hedw.) G. L. Sm. — **2, 6, 11, 13, 16**: горная тундра, березняки деренные; на выходах коренных пород (с почвой).

*Polytrichum commune* Hedw. — **6, 8**: березняки чернично-деренные и травяные, на сырой почве.

*Polytrichum hyperboreum* R. Br. — **2**: горная тундра, на выходах коренных пород (с почвой).

*Polytrichum juniperinum* Hedw. — **2, 8**: горная тундра, на валунах и выходах коренных пород (с почвой).

*Polytrichum piliferum* Hedw. — **1**: ивняк вороничный, на почве.

*Polytrichum strictum* Brid. — **12**: верховое болото (кочка). Со спорогонами.

*Polytrichum swartzii* Hartm. — **5**: берег озера, на почве.

*Pseudobryum cinclidioides* (Huebener) T. J. Кор. — **5, 6, 7, 11**: березняк хвощово-травяной, берега озерков и ручьев, ключи, на сырой почве.

*Pseudoleskeella tectorum* (Funck ex Brid.) Kindb. ex Broth. — **16**: горная тундра, на выходах коренных пород.

*Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid. — **2, 16**: горная тундра, на выходах коренных пород.

*Rhizomnium magnifolium* (Horik.) T. J. Кор. — **6, 13**: березняк травяной приручейный, ключ, на сырой почве.

*Rhizomnium punctatum* (Hedw.) T. J. Кор. — **6, 8, 15**: березняки приручейные, ключ; на сырых почве, камнях, выходах коренных пород (с почвой).

*Rhytidiadelphus squarrosus* (Hedw.) Warnst. — **3**: луговина, на почве.

*Rhytidiadelphus subpinnatus* (Lindb.) T. J. Кор. — **11**: долина р. Ворьемы, 69°43.418' с. ш., 30°53.813' в. д., ольшаник травяной, на сырой почве, 20.VII.2014, PTZ-11893.

*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst. — **7**: березняк (с ольхой) травяной, на почве.

*Sanionia orthohecioides* (Lindb.) Loeske — **1**: мыс Ворьема, 69°47.293' с. ш., 30°49.423' в. д., берег р. Ворьемы (у устья), на выходах коренных пород (в трещинах), 9.VIII.2014, PTZ-11901, PTZ-11903, PTZ-11904, PTZ-11905, PTZ-11906, PTZ-11907, PTZ-11908. С единичными спорогонами.

*Sanionia uncinata* (Hedw.) Loeske — **1, 5, 6**: березняки чернично-деренный и травяной, на почве, гниющей древесине. С единичными спорогонами.

*Schistidium maritimum* (Sm. ex R. Scott) Bruch et al. — **1**: мыс Ворьема, 69°47.167' с. ш., 30°49.571' в. д., берег моря, на выходах коренных пород (в трещинах), 9.VIII.2014, PTZ-11995.

*Sciuro-hypnum reflexum* Starke Ignatov & Huttunen — **6, 7, 13**: березняки травяные; на почве, комле березы, выходах коренных пород (с почвой).

- Scorpidium revolvens* (Sw. ex anon.) Rubers — **2, 8, 16**: берега ручьев и озерков (в воде), на сырых выходах коренных породах (у ключа).
- Scorpidium scorpioides* (Hedw.) Limpr. — **2, 16**: горная тундра, на сырых выходах коренных пород (у ключа); заболоченный берег озерка (в воде).
- Sphagnum angustifolium* (C. E. O. Jensen ex Russow) C. E. O. Jensen — **13**: верховое болото (кочка, ковер).
- Sphagnum annulatum* H. Lindb. ex Warnst. — **16**: переходное осоково-сфагновое болото.
- Sphagnum compactum* Lam. & DC. — **13, 16**: горная тундра, на сыром «дне» разлома; верховое болото (мочажина) в распадке.
- Sphagnum fuscum* (Schimp.) H. Klinggr. — **6, 16**: верховое болото (кочка) в распадке; горная тундра, на сыром «дне» разлома.
- Sphagnum girgensohnii* Russow — **2, 5, 12, 13, 16**: березняки травяно-сфагновые, заболоченные берега озерков, на сырой почве.
- Sphagnum lindbergii* Schimp. — **6, 13**: верховое болото (ковер, мочажина), берег озерка (в воде).
- Sphagnum platyphyllum* (Lindb. ex Braithw.) Warnst. — **2, 7**: горная тундра, березняк травяной, в обводненных западинах.
- Sphagnum riparium* Ångstr. — **6, 13, 16**: переходные болота, заболоченные березняки и ивняки, заболоченные берега озер.
- Sphagnum russowii* Warnst. — **6, 13, 16**: верховое и низинное болота, заболоченный березняк, заболоченный берег озерка.
- Sphagnum squarrosum* Crome — **6**: березняк приручейный, низинное болото.
- Sphagnum subsecundum* Nees — **6**: низинное болото (мочажина).
- Sphagnum teres* (Schimp.) Ångstr. — **6, 16**: низинные болота, заболоченный берег озерка.
- Sphagnum warnstorffii* Russow — **5, 6, 16**: заболоченный березняк (травяно-сфагновый), переходные и низинные болота.
- Straminergon stramineum* (Dicks. ex Brid.) Hedenäs — **6, 13, 15, 16**: заболоченные березняки, склоновые низинные болота, сырые придорожные каналы; на почве.
- Tetraphis pellucida* Hedw. — **6, 16**: березняки деренные и травяные; на комле березы, выходах коренных пород. Со спорогонами.
- Tetraplodon mnioides* (Hedw.) Bruch et al. — **4, 5**: горная тундра, берег озерка, на почве. Со спорогонами.
- Tomentypnum nitens* (Hedw.) Loeske — **16**: низинное болото.
- Tortella tortuosa* (Hedw.) Limpr. — **13, 16**: горная тундра, на выходах коренных пород.
- Warnstorfia exannulata* (Bruch et al.) Loeske — **5, 6, 16**: переходные и низинные болота, заболоченные берега озерков.
- Warnstorfia fluitans* (Hedw.) Loeske — **1, 2, 5, 13, 15**: горная тундра, на сырых выходах коренных пород; берега озерков (в воде).
- Warnstorfia procera* (Renauld & Arnell) Tuom. — **5, 13, 16**: заболоченные берега озерков.
- Warnstorfia sarmentosa* (Wahlenb.) Hedenäs — **1, 6, 12, 13, 16**: склоновые низинные болота, заболоченные берега озерков.
- Warnstorfia trichophylla* (Warnst.) Tuom. & T. J. Kop. — **16**: берег озерка, в воде.

## Заключение

На территории западной части планируемого заказника «Ворьема» выявлено 112 видов мхов. Большинство видов широко распространены в Мурманской области. Обнаружены новые местонахождения некоторых спорадически встречающихся видов (*Brachythecium turgidum*, *Bryum salinum*, *Dicranella grevilleana*, *Pohlia andrewsii*, *Rhytidiadelphus subpinnatus*, *Sanionia orthothecioides*, *Schistidium maritimum*). Редкие виды мхов, внесенные в Красную книгу Мурманской области [Красная..., 2014], не обнаружены. Результаты работы вошли в материалы комплексного экологического обследования территории заказника [Материалы..., 2017]. В дальнейшем инвентаризацию флоры мхов необходимо продолжить.

*Авторы выражают искреннюю благодарность О. А. Белкиной и А. Ю. Лихачеву (ПАБСИ КНЦ РАН), И. В. Чернядьевой и Г. Я. Украинской (БИН РАН) за помощь в определении некоторых видов мхов; Т. И. Бразовской (Институт биологии КарНЦ РАН) за оформление картосхемы. Исследования выполнены в рамках государственного задания Института биологии КарНЦ РАН (АААА-А17-117031710038-6) при финансовой поддержке Всемирного фонда природы (WWF).*

## Литература

Атлас Мурманской области. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. 1971. 33 с.

Боровичёв Е. А., Бойчук М. А. Мохообразные заповедника «Пасвик». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 123 с.

Боровичёв Е. А., Петрова О. В., Крышень А. М. О границах Зеленого пояса Фенноскандии в Мурманской области // Труды КарНЦ РАН, 2018 б. № 8. С. 141–146.

Геоботаническое районирование Нечерноземья Европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.

Елина Г. А., Лукашов А. Д., Юрковская Т. К. Позднеледниковье и голоцен Восточной Фенноскандии (палеорастительность и палеогеография). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 242 с.

Игнатов М. С., Игнатова Е. А., Федосов В. Э., Иванова Е. И., Блом Х. Х., Муньос И., Беднарек-Охыра Х., Афонина О. М., Курбатова Л. Е., Чернядьева И. В., Черданцева В. Я. Флора мхов России. Т. 2. Oedipodiales – Grimmiales. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 560 с.

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

Красная книга Мурманской области / отв. ред. Н. А. Константинова, А. С. Корякин, О. А. Макарова, В. В. Бианки. Кемерово: Азия-Принт, 2014. 584 с.

Материалы комплексного экологического обследования участков территории, обосновывающие создание особо охраняемой природной территории федерального значения «Ворьема». Раякоски – Никель – Мурманск: WWF, 2017. 244 с. [https://new.wwf.ru/upload/iblock/c5e/keo\\_vorema\\_dlya-obshch.obsuzhd.\\_24092017.pdf](https://new.wwf.ru/upload/iblock/c5e/keo_vorema_dlya-obshch.obsuzhd._24092017.pdf) (дата обращения: 04.03.2019).

Разнообразие растений, лишайников и цианопрокариот Мурманской области: итоги изучения и перспективы охраны / отв. ред. Н. А. Константинова. СПб.: Северо-западный печатный двор, 2009. 120 с.

*Шляков Р. Н., Константинова Н. А.* Конспект флоры мохообразных Мурманской области. Апатиты: КФ АН СССР, 1982. 227 с.

*Boychuk M., Borovichev E.* Checklist of mosses of the Pasvik State Nature Reserve (Murmansk Region, Russia) // *Folia Cryptogamica Estonica*. 2018. Vol. 55. P. 33–43.

*Häyren E.* Mossor fran Lapponia petsamoensis // *Mem. Soc. Fauna Fl. Fenn.*, 1955. Vol. 31 (1954–1955). P. 56–62.

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

*Kozhin M. N., Belkina O. A., Likhachev A. Yu., Ignatova E. A.* Moss flora of the Ainov islands, Barents sea // *Arctoa*, 2016. Vol. 25. P. 408–419.

*Roivanen H.* Lisätietoja eräiden lehtisammallajien esiintymysestä maassamme (Ref.: Angaben über das Vorkommen einiger Laubmossarten in Finland) // *Ann. Bot. Soc. «Vanamo»*, 1929. Vol. 9. P. 286–297.

#### ***Сведения об авторах***

##### **Бойчук Маргарита Арсеньевна**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии ФИЦ КарНЦ РАН, Петрозаводск, boychuk@krc.karelia.ru

##### **Поликарпова Наталья Владимировна**

кандидат географических наук, заместитель директора по научной работе заповедника «Пасвик», polikarpova-pasvik@yandex.ru

##### **Boychuk Margarita Arsen`evna**

PhD (Biology), Senior Researcher of Institute of Biology of the Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, boychuk@krc.karelia.ru

##### **Polikarpova Natalya Vladimirovna**

PhD (Geography), Deputy Director for Science of Pasvik State Nature Reserve, polikarpova-pasvik@yandex.ru

